

Etude conjointe de l'intérêt de la sélection sur la prolificité et de l'utilisation d'une lignée mâle spécialisée chez le Porc

J.-M. ELSEN et P. SELLIER

Station de Génétique quantitative et appliquée,
Centre national de Recherches zootechniques, I.N.R.A.
78350 Jouy-en-Josas

Résumé

Nous avons étudié conjointement l'optimisation de certaines décisions concernant l'amélioration génétique d'une population porcine qui présente la structure pyramidale de diffusion du progrès génétique (sélection, multiplication, production) et où le croisement terminal est un croisement à double étage avec des truies *Large White* (LW) × *Landrace Français* (LF). L'effectif de ces truies F₁ a été supposé constant et les effectifs de reproducteurs des étages supérieurs ont été ajustés aux besoins de renouvellement de l'étage de production, la monte naturelle étant seule utilisée. L'étude a porté sur deux types de choix :

- choix de la lignée paternelle du croisement terminal : nous avons comparé le croisement en retour (avec utilisation égale de verrats LW et LF) et trois croisements triples avec une lignée « mâle » spécialisée : *Landrace Belge*, *Piértrain* et souche *Large White* « viande » distincte de la souche « femelle »;
- choix du plan de sélection des noyaux « femelles » (LW et LF) : plus précisément recherche de l'optimum pour les taux de sélection sur la prolificité (avec un indice de sélection de précision variable) et pour les taux de renouvellement des reproducteurs mâles et femelles.

Le critère à maximiser est le bénéfice actualisé retiré de la production de viande de porc dans l'ensemble de la population. Ce bénéfice, estimé pour diverses valeurs de la durée et du taux d'actualisation, a été décomposé en un « gain dû au croisement » et un « gain dû à la sélection »; dans ce dernier gain, on peut distinguer des recettes dues à la sélection sur la performance de production, des recettes dues à la sélection sur la prolificité et des recettes dues à l'effet conjoint de ces deux sélections.

Avec les hypothèses que nous avons retenues pour les paramètres fixés du modèle, les principales conclusions sont les suivantes :

- la meilleure politique de sélection dans les noyaux « femelles » dépend du type de croisement terminal. En particulier la sélection sur la prolificité ne se justifie pratiquement jamais dans le cas du croisement en retour, alors qu'elle se justifie dans le cas des croisements triples où l'application des taux optimaux de sélection sur la taille de portée permet d'accroître le gain dû à la sélection, par rapport à la situation où la prolificité est ignorée dans la sélection : cet accroissement peut aller jusqu'à 6 p. 100;
 - le gain dû au croisement ne suffit pas à caractériser le mérite d'une stratégie de croisement. Ainsi le croisement triple avec le *Landrace Belge* est la meilleure stratégie de ce point de vue mais si l'on se réfère au bénéfice total calculé en supposant que, dans chaque cas, le plan optimal de sélection est appliqué, le croisement triple avec la souche *Large White* « viande » donne les meilleurs résultats, du fait d'une meilleure valorisation globale des actions de sélection, sur la période de 15 ans considérée.
-

Introduction

Le large développement de l'insémination artificielle, le petit nombre de centres de décision et l'importance des capitaux mis en jeu, ainsi que la longueur des intervalles de génération et donc du délai d'obtention des recettes dues à la sélection, sont probablement les causes essentielles de l'intérêt accordé depuis plusieurs années aux études économiques sur les schémas de sélection applicables à l'espèce bovine. A la suite de POUTOUS et VISSAC (1962), de nombreux auteurs ont tenté de « modéliser » ces schémas afin de déterminer les conditions de leur rentabilité maximale, en faisant généralement appel aux techniques d'actualisation : la sélection y est considérée comme une opération financière qui implique des coûts (investissement et fonctionnement) et permet la perception, à plus ou moins long terme, de recettes correspondant à l'accroissement de productivité chez les descendants des reproducteurs sélectionnés.

Dans les autres espèces, de telles études sont encore rares, bien que les principes de ces recherches et les méthodes utilisées pour les mener à bien leur soient aisément transposables. Dans le cas particulier du Porc, depuis les premiers travaux de LUSH (1937) et de DICKERSON et HAZEL (1944), de nombreuses études, dont les principales sont passées en revue par LEGAULT et OLLIVIER (1974), ont été consacrées à la recherche des meilleurs plans de sélection sans étudier de façon globale leur rentabilité mais en considérant seulement des aspects purement génétiques, l'objectif recherché étant le plus souvent l'obtention du progrès génétique annuel maximum dans les élevages de sélection. Il s'agit alors de trouver la combinaison optimum de trois facteurs qui sont la précision de l'estimation de la valeur génétique des candidats à la sélection, l'intensité de sélection et l'intervalle de génération, en faisant implicitement l'hypothèse qu'aucune limite n'est imposée au recueil de l'information nécessaire à la sélection. Dans l'approche « génético-économique » qui sera utilisée ici, il est tenu compte en plus, d'une part du coût de la création du progrès génétique, d'autre part du mode de diffusion de ce progrès à l'ensemble de la population soumise à sélection. Certaines études réalisées dans le passé sur l'optimisation de la sélection se rattachent, au moins de façon partielle, à ce type de démarche. Ainsi SMITH (1959), recherchant la meilleure utilisation d'une capacité de contrôle donnée (= coût) dans les stations de sélection, a notamment montré qu'il vaut mieux restreindre les opérations de sélection à un nombre limité d'élevages (système du noyau), plutôt que de les « diluer » dans l'ensemble des élevages de production. Le mode de diffusion de l'amélioration du noyau de sélection jusqu'au stade des élevages commerciaux a été décrit dans diverses situations par BICHARD (1971) et certains aspects de cette diffusion ont été développés par BICHARD et WILSON (1974). Dans le cas du contrôle en ferme, LEGAULT (1970a) a analysé l'intérêt d'un choix précoce sur la prolificité de la mère avant la sélection individuelle sur la vitesse de croissance et l'épaisseur du lard dorsal, en tenant compte du coût respectif de ces deux sélections pour l'éleveur. Par ailleurs, l'approche économique a déjà été utilisée dans les recherches sur l'optimisation des plans de croisement chez le Porc, d'abord en se limitant au seul étage terminal du plan de croisement (MOAV, 1966), puis en considérant l'ensemble de la population soumise au croisement (JAKUBEC et FEWSON, 1970; DICKERSON, 1973; BRUN, 1974; BICHARD, 1977).

Dans la présente étude, nous avons tenté d'appliquer ce type d'approche génético-économique à l'étude des choix à faire à la fois en matière de plan de croisement et en matière de plan de sélection et à l'étude de l'« interaction » pos-

sible entre ces deux types de choix, dans le cas d'une population porcine présentant la structure pyramidale classique de diffusion du progrès génétique. Nous avons supposé, comme dans toutes les études de ce genre, que les intérêts des agents économiques impliqués dans la réalisation du schéma d'amélioration génétique étaient convergents et qu'on pouvait donc raisonner comme si toutes les décisions étaient prises par un maître-d'œuvre unique dont l'objectif est d'optimiser, par des moyens génétiques, la rentabilité de la production de viande de porc dans l'ensemble de la population considérée.

I. — Position du problème et définition des objectifs de l'étude

Comme l'indique CUNNINGHAM (1973), il faut pour établir un schéma d'amélioration génétique : (1) déterminer les caractères d'intérêt économique et leurs mesures possibles, (2) connaître les paramètres génétiques correspondants (héritabilités, corrélations génétiques, effets d'hétérosis), (3) choisir les races intervenant dans le plan de croisement éventuel. Le schéma sera alors défini par le plan de croisement pratiqué (éventuellement la race pure) et par le plan de sélection mis en œuvre dans chaque race (ou souche) intervenant dans le croisement.

Chez le Porc, les performances à améliorer en priorité sont :

- d'une part la prolificité, composante essentielle de la productivité numérique des truies (nombre de produits/truie/an); la taille de portée est un caractère peu héritable (LEGAULT, 1970b; STRANG et KING, 1970) mais soumis à des effets d'hétérosis individuel et maternel importants (SELLIER, 1976b);
- d'autre part, l'efficacité alimentaire de l'animal en croissance pour la production de viande maigre (performance dite de production); la variance génétique des caractères de croissance et de composition corporelle est essentiellement additive, comme l'a montré par exemple OLLIVIER (1970).

Par ailleurs, l'absence de liaison génétique entre la taille de portée et la performance de production est l'hypothèse de travail la plus vraisemblable, ainsi que le montrent les estimations de corrélations génétiques et les résultats de plusieurs expériences de sélection (GRAY *et al.*, 1965; HETZER et MILLER, 1970; LEGAULT, 1971b; MORRIS, 1975; WEBB et KING, 1976; GARNETT et RAHNEFELD, 1976; NEWTON *et al.*, 1977; ENGLAND *et al.*, 1977) et bien que d'autres expériences de sélection semblent indiquer le contraire (BERRUICOS *et al.*, 1970; VANGEN, 1972, 1977).

A l'heure actuelle, dans la définition des schémas d'amélioration génétique du Porc, deux orientations se dessinent nettement :

1. — Utilisation, comme lignée maternelle du croisement terminal, de truies issues d'un croisement à 2 voies (F_1) qui est presque toujours de type *Landrace* × *Large White (Yorkshire)* dans les pays européens (SELLIER, 1974).
2. — Utilisation du contrôle individuel pour la sélection de la lignée paternelle sur les seuls caractères de croissance et de composition corporelle (LEGAULT et OLLIVIER, 1974).

La validité de ces deux choix repose sur des bases théoriques et expérimentales solides et il y a peu de chances qu'ils soient remis en cause dans un proche avenir : nous les retiendrons donc dans cette étude.

Par contre des incertitudes subsistent sur deux points :

1. — Le plan de sélection à appliquer dans les lignées « femelles » utilisées pour la production des truies F_1 : faut-il introduire la prolificité dans les critères de sélection de ces lignées ?
2. — Le type génétique à utiliser comme lignée paternelle : faut-il faire appel à une lignée « mâle » spécialisée ?

Nous avons cherché à donner des éléments de réponse à ces deux grandes questions en considérant une population de structure pyramidale comprenant des noyaux de races pures où est créé le progrès génétique (étage de sélection), des troupeaux où sont produites les truies F_1 (étage de multiplication) et des troupeaux commerciaux où naissent et sont engraisés les produits terminaux (étage de production). Le nombre de femelles F_1 en reproduction dans les élevages commerciaux a été fixé à 100 000. Nous avons pris comme effectifs de reproducteurs dans les étages de multiplication et de sélection les effectifs minimaux nécessaires au renouvellement de ces 100 000 femelles et des mâles qui leur sont accouplés, en admettant que l'insémination artificielle n'est pas utilisée. Tous ces effectifs sont supposés constants dans le temps.

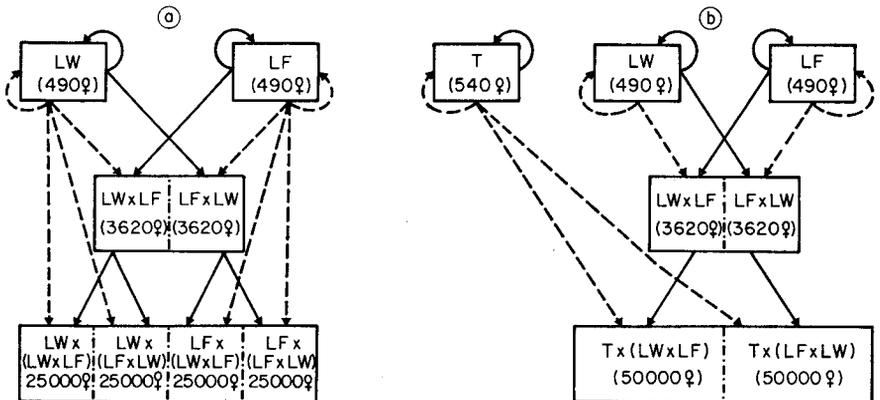


FIG. 1. — Structure de la population et flux de reproducteurs dans le cas du croisement en retour (a) et dans le cas d'un croisement triple (b)

Structure of the population and transfers of breeding animals in backcrossing (a) and in a three-way crossing (b)

- | | | |
|--------|--|--|
| —————> | flux de reproducteurs femelles
(transfer of breeding females) | LW = Large White |
| -----> | flux de reproducteurs mâles
(transfer of breeding males) | LF = Landrace Français
(French Landrace) |
| | | T = lignée mâle spécialisée
(specialized sire line) |

De façon plus précise, les objectifs de notre étude se rattachent à trois types de problèmes :

1. — Choix de la lignée paternelle du croisement terminal

De ce point de vue, deux grandes options peuvent être envisagées : le croisement en retour et le croisement triple. Dans le croisement en retour, les femelles F_1 sont accouplées à des mâles *Large White* et *Landrace Français* issus des mêmes souches que leurs propres parents (fig. 1a) : cette solution est dans la pratique la

plus souvent retenue à l'heure actuelle et nous avons supposé que la structure démographique de la population à l'instant initial correspondait à ce plan de croisement. Dans le croisement triple, on utilise une lignée mâle spécialisée pour la production de viande : les trois variantes envisagées ici sont le *Piétrain*, le *Landrace Belge* et une souche *Large White* « viande » distincte de la souche *Large White* « femelle » (fig. 1b).

2. — *Prise en compte de la prolificité dans la sélection des souches « femelles »*

Bien que d'un point de vue strictement génétique, il soit toujours préférable d'utiliser un indice de sélection pour l'amélioration simultanée de plusieurs caractères (HAZEL et LUSH, 1942), nous avons envisagé une sélection en deux étapes : d'abord (au sevrage) sur la prolificité (choix sur ascendance), ensuite (à 100 kg) sur la performance de production (choix sur un indice de contrôle individuel combinant vitesse de croissance et épaisseur de lard dorsal). Cette méthode a l'avantage d'être moins coûteuse puisque les animaux éliminés lors du premier choix ne sont pas contrôlés individuellement sur leur performance de production, le coût de ce dernier contrôle étant lié surtout à la non-castration des mâles. Notons que même avec cette méthode, il aurait été préférable, d'un point de vue génétique, d'utiliser, pour le second stade de sélection, un indice global regroupant performance de production et prolificité mais que, pour des raisons de volume des calculs, nous avons dû abandonner cette possibilité. Le problème consiste alors à rechercher les meilleurs taux de sélection sur la prolificité à appliquer dans les souches « femelles » *Large White* et *Landrace Français*, ces taux pouvant varier avec le sexe des candidats. Nous avons également étudié l'intérêt d'une précision accrue de l'estimation de la valeur génétique pour la prolificité en tenant compte non seulement de l'information relative à la mère du candidat à la sélection mais aussi de l'information relative à la mère du candidat à la sélection mais aussi de l'information relative à un certain nombre d'autres apparentées contemporaines de la mère.

3. — *Choix des taux de renouvellement dans les noyaux « femelles » de sélection*

Nous avons tenté de déterminer de façon approchée les taux de renouvellement optimaux des reproducteurs de ces noyaux en comparant quatre situations définies par une ou deux périodes de saillie pour les mâles, avec, dans chaque cas, une ou deux mises bas par femelle. Les solutions à taux de renouvellement le plus grand ont l'avantage de conduire à un intervalle de génération plus court alors que les solutions à taux de renouvellement plus faible permettent des pressions de sélection plus élevées et, dans le cas de deux mises bas par femelle, une plus grande précision du choix sur la prolificité. Ajoutons que dans le cas du noyau de sélection de la lignée mâle, une seule situation a été envisagée, à savoir une période de saillie pour les mâles et une mise bas pour les femelles : elle correspond approximativement à l'optimum trouvé par OLLIVIER (1974) pour la sélection individuelle sur les caractères de croissance et de carcasse.

En pratique, nous sommes partis d'une situation définie de la façon suivante : la population considérée présente la structure démographique du croisement en retour à l'équilibre (fig. 1a) et il est supposé qu'elle n'a été soumise antérieurement à aucune sélection. A l'année 0, les opérations de sélection commencent et, en ce qui concerne le plan de croisement, soit on continue à pratiquer le croisement en retour, soit on lui substitue progressivement l'un des croisements triples :

le noyau de sélection de la lignée mâle spécialisée est créé et à partir de ce moment, le renouvellement des mâles des troupeaux de production se fait avec des mâles issus de ce noyau : dans le cas du croisement triple, il y a donc une phase de transition avant d'obtenir le nouvel équilibre démographique.

Le problème, tel que nous l'avons posé, a été décomposé en deux étapes distinctes.

TABLEAU I

Définition des variantes des facteurs étudiés
Definition of the variants of the factors investigated

Facteur (factor)	Nombre de variantes (no. of variants)	Définition des variantes (definition of the variants)
I - plan de croisement: type génétique du verrat pour le croisement terminal (crossing plan: breed of boar in the terminal cross)	4	Ia croisements en retour avec <i>Large White</i> et <i>Landrace Français</i> . (backcrosses to <i>Large White</i> and <i>French Landrace</i>) Ib croisement triple avec <i>Piértrain</i> (3-way cross with <i>Piértrain</i>) Ic croisement triple avec <i>Landrace Belge</i> (3-way cross with <i>Belgian Landrace</i>) Id croisement triple avec souche <i>Large White</i> « viande » (3-way cross with <i>Large White</i> sire strain)
II - Source d'information pour la sélection sur la prolificité dans les noyaux « femelles » (information used for selection on litter size in the « female » nucleus herds)	2	IIa mère du candidat (dam of the candidate) IIb mère + tantes et 1/2 tantes du candidat (dam + aunts and half-aunts of the candidate)
III - Situations de renouvellement dans les noyaux de sélection « femelles » (rules for replacement in the « female » nucleus herds)	4	nb. de périodes de saillie / nb. de mises bas / femelle mâle (no. of mating periods / male) (no. of farrowings / female) IIIa 1 1 IIIb 2 1 IIIc 1 2 IIId 2 2
IV - Taux d'actualisation annuel (annual discounting rate)	3	IVa 0 p. 100 IVb 10 p. 100 IVc 20 p. 100
V - Durée d'actualisation en semestres (length of discounting period in half-years)	3	Va 10 Vb 20 Vc 30

La première étape consiste à déterminer l'expression algébrique du critère de comparaison utilisé (le bénéfice actualisé défini ci-dessous) pour les différentes situations envisagées. Les variantes étudiées pour chacun des 5 facteurs pris en considération sont données dans le tableau 1. Au total il y a 288 situations possibles dans ce « dispositif factoriel ». En réalité toutes ces situations n'ont pas été envisagées et l'étude a été menée de la façon suivante. Dans un premier temps, l'influence des facteurs II, III, IV et V a été étudiée de façon complète pour les seules variantes Ia (croisement en retour) et Ib (croisement triple avec le *Pié-train*) du plan de croisement. L'étude des variantes Ic et Id (croisement triple avec le *Landrace Belge* et la souche *Large White* « viande ») a été abordée ensuite en considérant seulement, pour les autres facteurs, les variantes qui semblaient *a priori* les plus intéressantes au vu des résultats obtenus précédemment.

La seconde étape consiste à rechercher, pour chaque situation, les valeurs des taux de sélection sur la prolificité maximisant le critère de comparaison, compte tenu de contraintes sur ces taux. Cette étape est donc un problème classique d'optimisation sous contrainte, le nombre de variables et de contraintes s'élevant dans notre cas à 6 et 14 respectivement.

II. — Méthodes et hypothèses

A. — Critère de comparaison

Le critère de comparaison entre schémas est le bénéfice actualisé, estimé pour diverses valeurs de la durée et du taux d'actualisation. Dans sa forme la plus générale, ce bénéfice s'écrit :

$$B = R - C = \sum_{t=1}^T \theta^t (R_t - C_t)$$

où T et θ sont la durée et le facteur d'actualisation, R_t et C_t sont respectivement les recettes et les coûts intervenant à l'instant t .

Nous avons adopté comme unité de temps le semestre. Cette unité est bien adaptée à l'espèce porcine puisqu'elle correspond approximativement à la fois à l'intervalle entre mises bas et à l'âge d'abattage d'un porc de 100 kg. Le facteur d'actualisation θ est donc lié au taux annuel d'actualisation a par la relation $\theta = (1 + a)^{-1/2}$.

B. — Estimation des recettes

1. Généralités

Nous désignons ici par « recettes » la marge brute totale retirée de la vente des animaux pour la boucherie. Ces animaux se répartissent en cinq catégories :

- les reproducteurs réformés de tous les étages; les recettes provenant de leur vente ont été traitées comme des « coûts négatifs » (voir plus loin);
- les produits terminaux de l'étage de production (femelles et mâles castrés de 100 kg);
- les produits mâles F_1 nés dans les élevages de multiplication et vendus comme mâles castrés de 100 kg;

- les candidats à la sélection non retenus pour le renouvellement dans les noyaux de sélection : ce sont des femelles et des mâles entiers, ainsi que, pour une partie, des mâles castrés dans les noyaux « femelles » (il est supposé que les mâles éliminés lors du choix fait au sevrage sur l'indice de prolificité sont vendus comme mâles castrés à 100 kg);
- le surplus de femelles F_1 par rapport aux besoins de renouvellement des élevages de production : ce surplus, dont l'existence est liée à l'hypothèse de constance de l'effectif de reproductrices F_1 dans l'étage de production, est nul à l'instant initial et va augmenter avec le temps dans l'éventualité d'une sélection sur la prolificité.

La marge brute totale est donc fonction de l'effectif de porcs vendus, qui varie avec la prolificité, et de la marge unitaire par porc vendu. Par marge unitaire, quantité dont le mode de calcul sera précisé plus loin, nous entendons le bénéfice retiré de l'engraissement d'un porc sans tenir compte de ce qui est imputable à la mère dans le prix de revient du porcelet de 25 kg. Dans le cas des femelles et des mâles castrés, la marge unitaire dépend à la fois du type génétique du porc et de l'année de naissance de ses parents : à un instant donné et dans un étage donné, les descendants des truies ou verrats les plus jeunes sont génétiquement supérieurs de ce point de vue, du fait de la sélection. Dans le cas des jeunes mâles entiers vendus à l'issue du contrôle individuel, la marge unitaire est plus faible dans les conditions actuelles du marché et nous l'avons supposée indépendante du type génétique et non modifiée par la sélection. La taille de portée d'une truie varie, pour les mêmes raisons, avec son type génétique, l'année de naissance de ses parents et aussi avec son âge, dans la mesure où celui-ci a un effet sur la prolificité.

À l'instant t , la population peut être décomposée en cohortes d'animaux homogènes vis-à-vis de leur étage d'origine, de leur type génétique, de leur sexe, de leur âge, de l'âge de leur mère et de leur « destinée » (reproducteur ou porc abattu). Parmi ces cohortes, on distinguera en particulier deux sous-ensembles : le sous-ensemble I constitué par les cohortes de produits abattus à 100 kg et le sous-ensemble J constitué par les cohortes de femelles en reproduction. À chaque cohorte de produits indicée i ($i \in I$) correspond à la date t une valeur moyenne de la marge unitaire $y_{(i)t}$ et une valeur moyenne de la prolificité de leurs mères $x_{(j)t}$ ($j \in J$), estimée par la taille de portée au sevrage. Dès lors les recettes perçues à la date t s'écrivent :

$$R_t = \sum_{i \in I} y_{(i)t} \left[\sum_{j \in J} (k N_{ij} x_{(j)t} - A_{ij}) \right]$$

où

k est le taux de survie entre le sevrage et 100 kg;

N_{ij} est le nombre de mères de la cohorte j qui donnent naissance à des porcs de la cohorte i ;

A_{ij} est le nombre d'individus appartenant à la cohorte i , issus des mères de la cohorte j et retenus pour le renouvellement (A_{ij} peut être nul).

En notant $R_{1t} = \sum_{i \in I} y_{(i)t} (\sum_{j \in J} N_{ij} x_{(j)t})$ et $R_{2t} = \sum_{i \in I} y_{(i)t} (\sum_{j \in J} A_{ij})$, les recettes totales sont :

$$R = \sum_{t=1}^T (R_{1t} - R_{2t}) \theta^t$$

2. — Estimation des marges unitaires et de la prolificité des truies

a) Méthode d'estimation :

La marge unitaire et la prolificité évoluent dans le temps, du fait de la sélection : elles ont été estimées à l'aide du modèle développé par HILL (1974) et ELSÉN et MOCQUOT (1974). Ce modèle décrit l'évolution, période par période, du niveau génétique d'une population soumise à sélection et dont les générations se chevauchent, à l'aide de l'algorithme suivant : G_t étant un vecteur dont chaque élément $G_{t(i)}$ est la valeur génétique additive moyenne des animaux de la cohorte i à la période t , ΔG_t étant un vecteur dont chaque élément $\Delta G_{t(i)}$ est la supériorité des animaux sélectionnés dans la cohorte i par rapport aux candidats à la sélection de cette même cohorte et D_t étant une matrice de transition qui permet de passer de la période t à la période $t + 1$ et dépend des pyramides des âges des reproducteurs, le vecteur G_{t+1} est déduit du vecteur G_t par l'opération :

$$(1) \quad G_{t+1} = D_t G_t + \Delta G_t$$

Le modèle étant linéaire, seuls les effets additifs sont pris en compte. Le vecteur P_{t+1} des valeurs phénotypiques $P_{t+1(i)}$ des animaux de la cohorte i au temps $t + 1$ est donné par l'équation :

$$(2) \quad P_{t+1} = G_{t+1} + E = D_t G_t + \Delta G_t + E$$

où E est le vecteur des écarts à l'additivité que nous avons supposés invariants dans le temps. Ces écarts comprennent d'une part les effets d'hétérosis sur les performances de production et de reproduction, d'autre part les effets génétiques maternels et paternels et l'effet de l'âge de la truie sur la taille de portée, traitée ici comme un caractère de la mère et non du produit. Appliquée à la marge unitaire (y) et à la prolificité (x), l'équation (2) devient :

$$(3) \quad y_{t+1} = G_{y, t+1} + E_y \quad \text{avec} \quad G_{y, t+1} = D_t G_{y, t} + \Delta G_{y, t}$$

$$(4) \quad x_{t+1} = G_{x, t+1} + E_x \quad \text{avec} \quad G_{x, t+1} = D_t G_{x, t} + \Delta G_{x, t}$$

Nous avons supposé par ailleurs que le schéma de sélection se répète identique à lui-même dans le temps, donc que $\Delta G_{y, t}$, $\Delta G_{x, t}$ et D_t sont des constantes notées ΔG_y , ΔG_x et D . Cette hypothèse implique en particulier que les pressions de sélection ne varient pas (leur accroissement possible dû à la réponse à la sélection sur la prolificité est supposé négligeable), que les paramètres génétiques des caractères sélectionnés restent les mêmes et que les pyramides des âges ne sont pas modifiées par la sélection.

Avec cette hypothèse, les relations (3) et (4) s'écrivent :

$$(5) \quad y_{t+1} = D^{t+1} G_{y, 0} + \mathcal{D}_t \Delta G_y + E_y$$

$$(6) \quad x_{t+1} = D^{t+1} G_{x, 0} + \mathcal{D}_t \Delta G_x + E_x$$

où $\mathcal{D}_t = D^t + D^{t-1} + \dots + I$ (I est la matrice unité de même dimension que D).

Ces valeurs comprennent donc une part due à la sélection — $\mathcal{D}_t \Delta G_y$ et $\mathcal{D}_t \Delta G_x$ — et une part due au croisement — $D^{t+1} G_{y, 0} + E_y$ et $D^{t+1} G_{x, 0} + E_x$ —. Dans le cas du croisement en retour, qui est supposé en phase d'équilibre à l'instant initial, c'est-à-dire appliqué sous la même forme depuis un temps suffisant pour qu'à cet instant les effectifs des différents types d'animaux soient stables et que la valeur moyenne d'une cohorte ne varie plus, on a :

$$G_{y, 0} = D G_{y, 0} \quad \text{et} \quad G_{x, 0} = D G_{x, 0}$$

et les relations (5) et (6) deviennent :

$$(7) y_{t+r} = y_0 + \mathfrak{D}_t \Delta G_y$$

$$(8) x_{t+r} = x_0 + \mathfrak{D}_t \Delta G_x$$

Les valeurs y_{t+r} et x_{t+r} sont donc fonction des niveaux initiaux y_0 et x_0 et des supériorités dues à la sélection ΔG_y et ΔG_x .

Dans le cas du croisement triple, les relations (7) et (8) ne sont vraies en toute rigueur qu'à partir du quatrième semestre, époque à laquelle tous les verrats en service dans l'étage de production proviennent du noyau « mâle ». On a donc remplacé x_0 et y_0 par x_4 et y_4 , et les valeurs correspondant aux trois premiers semestres ont été calculées pas à pas.

TABLEAU 2

Valeur initiale de la taille de portée au sevrage pour les différents types génétiques et effet du numéro de mise bas de la mère

Initial value of litter size at weaning in the different breeding groups and effect of dam parity

		effet du type génétique † (effect of breeding group)							
		races pures (purebreds)				croisements (crossbreds)			
Type génétique de la portée (breeding group of the litter)		LW	LF	LB	P	LW × LF	LF × LW	LW × F ₁	LF, LB, P × F ₁
Valeur moyenne pour la 1 ^{re} mise bas	(mean value for the first parity)	8,15	8,15	7,20	7,20	8,55	8,55	9,35	8,75

effet du numéro de mise bas de la mère
(effect of dam parity)

Numéro de mise bas (parity)	1	2	3	4	5	6
Écart par rapport à la 1 ^{re} mise bas	0	+ 0,83§	+ 1,15	+ 1,15	+ 1,13	+ 0,97

† LW = Large White, LF = Landrace Français, LB = Landrace Belge, P = Piétrain, F₁ = LW × LF et LF × LW; pour les croisements, la race du père est donnée en premier (for crossbreds, the breed of sire is first given).

§ + 0,57 pour le Landrace Belge et le Piétrain.

b) Valeurs initiales des prolificités et des marges unitaires :

α. Prolificités

Les prolificités initiales ont été décomposées pour les besoins du modèle en $x_0 = G_{x,0} + E_x$. Ces composantes ont été estimées à partir des données de SMITH et KING (1964), VAN DE PAS *et al.* (1973) et LEGAULT *et al.* (1975) pour chaque type génétique et pour chaque âge de la truie. Les valeurs de la taille de portée au sevrage sont données au tableau 2 pour chaque type génétique, ainsi que l'effet du numéro de mise bas de la mère. On notera que la taille de portée est identique pour les femelles de race pure *Large White* et *Landrace Français*, comme pour les deux types de truies F_1 , et qu'il existe un effet important de la race du père sur la taille des portées des truies F_1 , à l'avantage du *Large White*.

β. Marges unitaires

Nous avons défini la marge du porc de 100 kg comme la différence entre son prix de vente et son prix de revient propre, calculé sans tenir compte des frais d'entretien de la mère. Il est en effet apparu plus simple de dissocier pour le calcul du prix de revient d'un porc de 100 kg le coût imputable au porc lui-même et la fraction du coût d'entretien de la mère qui lui serait imputée dans la méthode classique de calcul du prix de revient du porcelet (LEGAULT, 1971a), fraction qui diminue dans le temps du fait de l'accroissement de la taille de portée; avec cette démarche, la marge unitaire est donc indépendante de la prolificité. Par exemple, la marge par porc de race *Large White* a été estimée à 130 F, en supposant un prix de vente de 435 F, un prix de revient entre la naissance et le poids de 25 kg de 50 F et un coût de l'engraissement entre 25 et 100 kg égal à 255 F (indice de consommation : 3,4 kg d'aliment/kg de gain; prix de l'aliment : 0,8 F/kg; coûts autres qu'alimentaires supposés fixes et égaux à 51 F). Les marges par porc ont été estimées pour les autres types génétiques, à partir des pondérations économiques données par MOLENAT *et al.* (1974), soit en utilisant directement des résultats de comparaisons entre plans de croisement (SELLIER, 1975, 1976a), soit en partant des différences entre races pures trouvées par MOLENAT *et al.* (1974) et SELLIER

TABLEAU 3

Valeur initiale de la marge unitaire (en francs) pour les différents types génétiques
Initial value of the gross profit per slaughter pig (in francs) in the different breeding groups

Types génétiques (breeding groups)	Races pures ($G_{y,0}$) (purebreds)				Croisements ($G_{y,0} + E_y$) (crossbreds)					
	LW	LF	LB	P	LW × LF	LF × LW	LW × F_1	LF × F_1	LB × F_1	P × F_1
Marge unitaire (gross profit per pig)	130,0	125,8	154,8	125,0	134,2	134,2	134,3	130,0	145,5	134,0

et al. (1974) et en faisant des hypothèses sur les effets d'hétérosis, compte tenu des estimations disponibles dans la littérature (SELLIER, 1976b). Nous en avons déduit les valeurs initiales $G_{y,0}$ et E_y (tabl. 3), en supposant qu'il n'y a pas d'effet de l'âge de la mère sur la marge unitaire. Dans le cas des mâles entiers vendus à 100 kg, cette marge unitaire qui, rappelons-le, a été supposée indépendante du type génétique et non modifiée par la sélection, a été prise égale à 30 F.

c) *Supériorité des animaux retenus après sélection*

La sélection s'effectue dans les noyaux de race pure qui, à la fois, assurent leur propre renouvellement en mâles et en femelles et fournissent les femelles de renouvellement aux troupeaux de multiplication et les mâles de renouvellement aux troupeaux de multiplication et de production. D'une façon générale, les supériorités des animaux retenus après sélection dans la cohorte i dépendent des intensités de sélection ΔX_i et ΔY_i relatives respectivement à l'indice de sélection sur la prolificité (X) et à l'indice de sélection sur la performance de production (Y) et des écarts-type σ_x et σ_y de ces indices.

TABLEAU 4

Intensités de sélection appliquées aux reproducteurs issus des noyaux de race pure
Intensities of selection applied to breeding animals born in nucleus herds

Type de reproducteur (type of breeding animal)			Intensités de sélection (intensities of selection)	
noyau (nucleus)	sexe (sex)	troupeaux d'utilisation (herds of utilization)	prolificité (ΔX_i) (prolificacy)	indice de production (ΔY_i) (production index)
LW et LF	♀	sélection	$i(r_1)$ §	$i(p_1)$
		multiplication	$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - 1} i(r_1)$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - 1} i(p_1)$
	♂	sélection	$i(r_2)$	$i(p_2)$
		multiplication et production	$i(r_3)$	$\frac{p_3 i(p_3) - p_2 i(p_2)}{p_3 - p_2}$
T†	♀	sélection	o	$i(\lambda_1)$
		sélection	o	$i(\lambda_2)$
	♂	multiplication	o	$\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - 1} i(\lambda_2)$

§ $i(r_1)$ est l'intensité de sélection calculée d'après la loi normale pour le taux r_1 ($i(r_1) = z/r_1$ assuming a normal distribution).

† T = Piétrain, Landrace Belge ou Large White « viande » (Piétrain, Belgian Landrace or Large White sire strain).

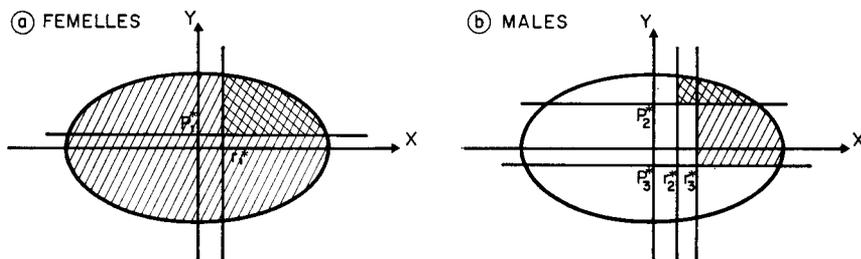


FIG. 2. — Modes de choix des reproducteurs dans les noyaux « femelles »
Procedures for selection of breeding animals in the « female » nucleus herds
 X : indice de sélection sur la prolificité (*selection index on litter size*)
 Y : indice de sélection sur la performance de production (*selection index on production performance*)
 hachures doubles : animaux destinés au renouvellement des noyaux de sélection.
 (*double hachures : animals retained for replacement of nucleus herds*).
 hachures simples : animaux destinés au renouvellement de l'étage de multiplication
 (*simple hachures : animals moved for replacement to multiplier herds*)
 r^*_1 est l'abscisse du point de troncature correspondant au taux de sélection r_1
 (r^*_1 is the abscissa of the point of truncation for the selection rate r_1).

α . Intensités de sélection (tabl. 4)

Les effectifs des noyaux des races *Large White* et *Landrace* étant ajustés aux besoins en femelles, toutes les jeunes femelles sont retenues pour le renouvellement, les meilleures restant dans les noyaux et les moins bonnes étant transférées dans les troupeaux de multiplication.

Une première sélection est effectuée sur l'indice de prolificité X (avec un taux r_1). Les animaux sélectionnés sont alors contrôlés sur leurs propres performances de croissance et d'adiposité et la fraction p_1 supérieure est définitivement retenue pour le renouvellement des noyaux de races pures (fig. 2a). Les taux r_1 et p_1 sont liés par la relation $r_1 p_1 = \lambda_1$ où λ_1 est le rapport du nombre de femelles nécessaires au renouvellement du noyau au nombre de candidates. On peut en déduire les différentielles de sélection pour les femelles conservées dans les noyaux de race pure et pour les femelles assurant le renouvellement des troupeaux de multiplication.

Le mode de choix des mâles de renouvellement des troupeaux de sélection est identique à celui des femelles, avec des taux r_2 et p_2 . On a par ailleurs supposé que les mâles destinés aux étages inférieurs sont choisis, avec des taux r_3 et p_3 , parmi les animaux contrôlés sur leur performance de production, ce qui implique $r_3 < r_2$ (fig. 2b). Ces taux sont liés par les relations $r_2 p_2 = \lambda_2$ et $r_3 (p_3 - p_2) = \lambda_3$, λ_3 étant ici le rapport du nombre de mâles nécessaires pour le renouvellement des étages inférieurs au nombre de candidats.

Dans le cas de la souche mâle spécialisée, l'effectif du noyau de sélection est fixé par le besoin en mâles de renouvellement de l'étage de production. Aucune sélection n'est faite sur la prolificité ($r_1 = r_2 = r_3 = 1$) et on a les relations $p_1 = \lambda_1$ et $p_2 = \lambda_2$.

β . Écarts-type des indices de sélection

En ce qui concerne la sélection des performances de croissance et de carcasse, les caractères mesurés sur les candidats à la sélection sont la durée d'engraissement de 25 à 100 kg (P_1), les épaisseurs de lard au rein (P_2) et au dos (P_3) au poids

de 100 kg. La valeur génétique globale H, qui a la signification d'une marge unitaire (prix de vente — coût de l'engraissement), s'inspire de celle décrite par OLLIVIER (1971) :

$$H = -0,8h_1 - 0,52h_2 + 1,5h_3 + 2h_4 - 8h_5 - 7h_6 - 1,1h_7 - 1,1h_8$$

où h_1, h_2, \dots, h_8 sont les valeurs génétiques additives respectivement pour la consommation d'aliment (kg), la durée d'engraissement (j), les poids de jambon, longe, bardière et panne par demi-carrosse (kg), les épaisseurs de lard au rein et au dos (mm). Les variances et covariances estimées par OLLIVIER (1970) ont été utilisées pour calculer les coefficients de l'indice Y ($Y = -0,756P_1 - 1,977P_2 - 1,092P_3$), son écart-type ($\sigma_Y = 15,04$) et sa corrélation avec H ($\rho_{YH} = 0,768$). Nous n'avons pas envisagé l'introduction de l'indice de consommation comme variable prédictive de H, car elle n'améliore la corrélation ρ_{YH} que de 4 p. 100.

En ce qui concerne la prolificité, la valeur génétique des candidats à la sélection dans les noyaux « femelles » peut être estimée de quatre façons différentes selon que l'information utilisée concerne seulement la mère du candidat ou, en plus de la mère, un certain nombre d'apparentées contemporaines de la mère (tantes et demi-tantes) et selon que chacune de ces femelles est connue sur une ou deux portées. Dans le cas où l'information utilisée ne concerne pas seulement la mère,

TABLEAU 5

Estimation de la supériorité génétique pour la prolificité dans les quatre situations de sélection (1)
Estimation of the genetic superiority for litter size in the four selection methods

Apparentées prises en compte (<i>relatives taken in account</i>)	Mère (<i>dam</i>)		Mère + tantes et demi-tantes (<i>dam + aunts and half-aunts</i>)	
	1	2	1	2
Nb. de portées/truie (<i>no. of litters/sow</i>)				
Corrélation entre l'indice de sélection et la valeur génétique (ρ_x) (<i>correlation between selection index and breeding value</i>)	0,158	0,209	0,228	0,289
Écart-type de l'indice de sélection (σ_x) (<i>standard deviation of the selection in- dex</i>)	0,130	0,172	0,187	0,236
Réponse corrélatrice sur la taille de portée au sevrage (2) (<i>correlated response on litter size at weaning</i>)	0,083	0,109	0,119	0,151

(¹) Hypothèses sur les paramètres (*Assumed values of the parameters*).

TPN : taille de portée à la naissance (*litter size at birth*).

TPS : taille de portée au sevrage (*litter size at weaning*).

Héritabilité de TPN et TPS et répétabilité de TPN : respectivement 0,10, 0,08 et 0,15; corrélation génétique entre TPN et TPS : 0,80; écart-type phénotypique de TPN et TPS : respectivement 2,604 et 2,315.

(²) Pour une différentielle de sélection égale à un écart-type de l'indice (*For a selection differential equal to one standard deviation of the index*).

TABLEAU 6

Paramètres démographiques
Demographic parameters

Paramètres (parameters)	Valeur (value)	
Taux de masculinité (<i>Sex ratio</i>)	0,5	
Taux de survie du sevrage à 100 kg (<i>Survival rate from weaning to 100 kg</i>)	0,97	
Rapport du nombre de 1ères mises bas au nombre de femelles mises à la reproduction (<i>Farrowing rate in first parity</i>)	0,91	
Nombre de femelles par mâle } (<i>no. of females per male</i>)	production et multiplication	15
	sélection	10
Taux de renouvellement des mâles (1) (<i>replacement rates of males</i>)	sélection	1 ou 0,5
	production et multiplication	0,25
Taux de renouvellement des femelles (<i>replacement rates of females</i>)	sélection	1 ou 0,56
	production	0,348
Pyramide des âges des femelles en reproduction (2) (<i>Age structure of the breeding females</i>)		
Sélection (cas de 2 mises bas par truie) (<i>case of 2 farrowings/sow</i>)	truies de 12 mois	0,560
	truies de 18 mois	0,440
	truies de 12 mois	0,348
Multiplication (4 mises bas par truie) (<i>4 farrowings/sow</i>)	truies de 18 mois	0,274
	truies de 24 mois	0,220
	truies de 30 mois	0,158
	truies de 12 mois	0,294
	truies de 18 mois	0,231
Production (6 mises bas par truie) (<i>6 farrowings/sow</i>)	truies de 24 mois	0,186
	truies de 30 mois	0,134
	truies de 36 mois	0,094
	truies de 42 mois	0,061

(1) On a fait l'hypothèse qu'aucun mâle n'était réformé d'une période de saillie à la suivante (*It has been assumed that no male was culled from one mating period to the following one*).

(2) D'après les données de LEGAULT *et al.* (1975) (*From data of LEGAULT et al., 1975*).

nous avons supposé qu'étaient connues les performances de la mère, d'une propre sœur et de neuf demi-sœurs paternelles du père, de neuf demi-sœurs paternelles de la mère : ce volume d'information correspond à la situation moyenne pour chaque candidat, compte tenu du niveau de prolificité du *Large White* et du *Landrace Français* et du nombre moyen de filles conservées pour la reproduction par verrat et par truie. Dans tous les cas, le critère de sélection concerne la taille de portée à la naissance et la réponse corrélative sur la taille de portée au sevrage a été calculée. Les paramètres phénotypiques et génétiques utilisés pour ces calculs qui conduisent aux résultats du tableau 5 proviennent des études de LEGAULT (1970b) et STRANG et KING (1970).

3. — Estimation des effectifs de femelles et du nombre de reproducteurs réformés

Avec l'hypothèse de constance du nombre de reproducteurs dans le temps et en supposant un effectif de 100 000 femelles F₁ dans les élevages de production, on peut, à partir des valeurs des prolificités, des taux de survie, du rapport du

nombre de mâles au nombre de femelles en reproduction, estimer les différents effectifs de mères et d'animaux réformés intervenant dans les schémas. Dans tous les cas, on a supposé que les femelles F_1 sont également réparties entre les deux croisements réciproques (50 000 femelles de père *Large White* et 50 000 femelles de père *Landrace*) et, pour le croisement en retour, sont accouplées à parts égales aux deux races de mâles.

Les paramètres démographiques nécessaires figurent aux tableaux 1 et 6. On a supposé que les femelles mettent bas pour la première fois à l'âge d'un an puis tous les 6 mois.

Cet ensemble de paramètres permet de calculer les effectifs de reproducteurs dont une partie est donnée sur les figures 1a et 1b. Ces paramètres permettent également de calculer les coefficients λ_1 , λ_2 et λ_3 qui lient les taux de sélection.

4. — Expression algébrique des recettes

Les recettes sont calculées à partir de leur expression générale :

$$R = \sum_{t=1}^T (R_{1t} - R_{2t}) \theta^t$$

avec $R_{1t} = y_t N x'_t$

$$R_{2t} = y_t A'$$

où : x_t et y_t sont les vecteurs de dimension n des prolificités et des marges unitaires donnés par les relations (7) et (8).

A est le vecteur de dimension n des effectifs de reproducteurs retenus pour le renouvellement.

x'_t et A' sont les transposés de x_t et A .

N est la matrice $n \times n$ des effectifs de mères, « corrigés » pour le taux de survie k .

Ces expressions peuvent s'écrire :

$$R_{1t} = (y_0 + \Delta G_y \mathcal{D}_t) N (x'_0 + \mathcal{D}'_t \Delta G'_x)$$

$$R_{2t} = (y_0 + \Delta G_y \mathcal{D}_t) A'$$

On peut alors décomposer les recettes totales en :

$$(9) R = \alpha + \Delta G_y \beta + \gamma \Delta G'_x + \Delta G_y \delta \Delta G'_x$$

$$\text{avec } \alpha = \sum_{t=1}^T \theta^t (y_0 N x'_0 - y_0 A')$$

$$\beta = \sum_{t=1}^T \theta^t \mathcal{D}_t (N x'_0 - A')$$

$$\gamma = \sum_{t=1}^T \theta^t (y_0 N \mathcal{D}'_t)$$

$$\delta = \sum_{t=1}^T \mathcal{D}_t N \mathcal{D}'_t \theta^t$$

Rappelons que, dans le cas du croisement triple, les recettes des trois premiers semestres ont été calculées séparément.

La décomposition des recettes, telle qu'elle apparaît dans la relation (9), permet d'individualiser :

— une part due au seul croisement (α);

- une part due à la sélection sur les caractères de croissance et de carcasse ($\Delta G_y \beta$);
- une part due à la sélection sur la prolificité ($\gamma \Delta G'_x$);
- une part due à l'« effet conjoint » des deux types de sélection ($\Delta G_y \delta \Delta G'_x$).

C. — Estimation des coûts

Partant de la situation initiale définie plus haut, nous avons tenté d'estimer les coûts engagés en nous intéressant particulièrement à la fraction des coûts qui varient d'un schéma à l'autre. Les coûts peuvent ainsi être subdivisés en coûts fixes, coûts dépendant des effectifs d'animaux et coûts liés à la sélection proprement dite.

1. Coûts fixes

Il est utile de rappeler ici que nous avons fait l'hypothèse que les effectifs de reproducteurs dans les étages de multiplication et de production sont les mêmes quel que soit le schéma : les frais d'entretien de ces reproducteurs représentent donc des coûts fixes (notés ψ) et ont été décomposés en coûts alimentaires et coûts autres qu'alimentaires. Pour les truies, nous avons supposé une consommation journalière d'aliment et un prix de l'aliment de 2,5 kg et 0,80 F/kg pour les périodes d'attente de saillie et de gestation, de 5 kg et 0,85 F/kg pour la période de lactation; les coûts autres qu'alimentaires ont été estimés à 2 F/jour. Les coûts d'entretien des verrats reproducteurs ont été calculés de la même façon en supposant une consommation moyenne journalière d'aliment de 3,5 kg et un prix de l'aliment de 0,80 F/kg. De ces coûts ont été retranchées les valeurs de réforme des reproducteurs, supposées indépendantes du type génétique et de l'âge de l'animal, constantes dans le temps et égales à 550 F pour les truies et 300 F pour les verrats.

2. Coûts proportionnels aux effectifs

Ces coûts, notés ϵ , ont trois origines :

- a. investissement en bâtiments : l'année 0 de la période d'étude est définie en particulier par le début des opérations de sélection, ce qui nécessite la construction de bâtiments pour les contrôles de performance. A partir de données relatives à la station de sélection du Rheu, nous avons supposé que ces bâtiments représentaient, dans chaque noyau de sélection, un investissement de 8 000 F par femelle reproductrice. En principe, il conviendrait, dans l'estimation du bénéfice, de soustraire de cet investissement sa valeur de déclassement actualisée à l'horizon final; en pratique, faute de données, cette valeur a été négligée.
- b. investissement en animaux : il est supposé, rappelons-le, que dans son état initial, la structure démographique de la population est celle du croisement en retour. La mise en place du croisement triple nécessite la création d'un nouveau noyau de sélection. Dans le cas du croisement triple, l'investissement en animaux, supposé engagé en totalité à l'année 0, a été estimé sur la base de 1 000 F/femelle et de 1 500 F/mâle.

- c. coûts d'entretien des reproducteurs des noyaux de sélection. Ils ont été calculés de la même façon que pour les reproducteurs des autres étages. Ce coût est fonction de l'effectif total des reproducteurs de l'étage de sélection (existence ou non d'un noyau « mâle ») et, dans le cas des noyaux « femelles », des taux de renouvellement pratiqués.

Les coûts proportionnels aux effectifs ont donc la forme générale

$$\varepsilon = \sum_{j \in J'} N_j \left(\eta_j + \sum_{t=1}^T \theta^t \varepsilon_j \right)$$

où J' est l'ensemble des indices de cohortes de femelles en reproduction dans l'étage de sélection et N_j le nombre de femelles de la cohorte j et où ε_j et η_j sont respectivement le coût d'entretien et l'investissement initial (bâtiments, animaux), exprimés par femelle.

3. — Coûts liés à la sélection

Nous entendons par là les coûts du contrôle de performances des candidats à la sélection dans les noyaux. Nous avons supposé que les informations servant au calcul de l'indice de sélection sur la prolificité sont disponibles sans frais supplémentaires. Les coûts du contrôle de croissance et d'adiposité (pesées, mesures d'épaisseur de lard) ont été estimés à 9 F par animal, les animaux éliminés par la sélection sur la prolificité n'étant pas soumis au contrôle individuel. Les coûts totaux annuels de contrôle dans le noyau de sélection l — *Large White* ($l = 1$), *Landrace Français* ($l = 2$) ou souche mâle ($l = 3$) — sont de la forme :

$$9 \sum_m N_{ml} \frac{x_{ml,0}}{2} (r_{1l} + r_{2l})$$

où r_{1l} et r_{2l} sont les taux de sélection sur la prolificité respectivement chez les mâles et chez les femelles,

N_{ml} est le nombre de femelles donnant la $m^{\text{ième}}$ mise bas dans le noyau l ($m = 1$ ou 2),

$x_{ml,0}$ est la prolificité initiale de ces femelles (on a négligé l'accroissement possible des différentielles de sélection dû à l'augmentation de la taille de portée).

Dès lors, les coûts liés à la sélection s'écrivent :

$$\sum_l \varphi_l (r_{1l} + r_{2l}) / 2$$

avec

$$\varphi_l = 9 \sum_{t=1}^T \theta^t \left(\sum_m N_{ml} x_{ml,0} \right)$$

Notons que dans le cas du noyau « mâle » ($l = 3$), $r_{1l} = r_{2l} = 1$ et $m = 1$. Les coûts liés à la sélection s'écrivent finalement :

$$\varphi = \varphi_1 (r_{11} + r_{21}) / 2 + \varphi_2 (r_{12} + r_{22}) / 2 + \varphi_3$$

D. — Détermination du schéma d'amélioration génétique optimum

Le bénéfice actualisé prend donc la forme :

$$(10) \quad B = R - C = (\alpha + \Delta G_y \beta + \gamma \Delta G'_x + \Delta G_y \delta \Delta G'_x) - (\psi + \varepsilon + \varphi)$$

Les paramètres α , β , γ , δ , ε , φ sont calculés pour chacune des situations étudiées; on cherche alors les valeurs des taux de sélection maximisant B, compte tenu des contraintes suivantes :

$$\begin{aligned} r_{1l} \hat{p}_{1l} &= \lambda_{1l} \\ r_{2l} \hat{p}_{2l} &= \lambda_{2l} \\ r_{3l} (\hat{p}_{3l} - \hat{p}_{2l}) &= \lambda_{3l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{1l} &< r_{1l} < 1 \\ \lambda_{2l} &< r_{2l} < 1 \\ \lambda_{3l} &< r_{3l} < r_{2l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{1l} &< \hat{p}_{1l} < 1 \\ \lambda_{2l} &< \hat{p}_{2l} < 1 \\ \hat{p}_{2l} &< \hat{p}_{3l} < 1 \end{aligned}$$

Par élimination de variables, ce problème est ramené à 6 variables (r_{1r} , r_{2r} , r_{3r} , r_{12} , r_{22} , r_{32}) et 14 contraintes.

Pour déterminer le maximum, un programme d'optimisation sous contraintes utilisant la méthode du gradient réduit (FAURE et HUARD, 1965) a été écrit. Cette méthode, proche de la programmation linéaire, consiste à rechercher le maximum d'une fonction en partant d'un point initial réalisable (satisfaisant aux contraintes) et en faisant varier des variables dites de base dans la direction assurant l'augmentation maximale de la fonction. Dès que le maximum local de la fonction est atteint, une nouvelle direction est calculée et les nouvelles valeurs optimales des variables de base sont recherchées. Ce cheminement est interrompu par des changements de base éventuels si les variables hors base deviennent irréalisables et se termine lorsqu'en un point donné, la fonction ne peut être améliorée dans aucune direction.

III. — Résultats

Pour faciliter l'exposé des résultats, nous avons choisi de les présenter en montrant séparément l'influence des 5 facteurs de variation envisagés ici sur le « gain dû au croisement » d'une part, le « gain dû à la sélection » d'autre part, avant de comparer les schémas d'un point de vue global. Par « gain dû au croisement » et « gain dû à la sélection », nous désignons respectivement les quantités $B_c = \alpha - \psi - \varepsilon$ et $B_s = \Delta G_y \beta + \gamma \Delta G'_x + \Delta G_y \delta \Delta G'_x - \varphi$ de la relation (10). Cette décomposition comporte une part d'arbitraire : en particulier, les termes β , γ et δ qui interviennent dans l'expression du gain dû à la sélection dépendent du plan de croisement pratiqué et par ailleurs, certains éléments du coût sont attribués à l'un ou l'autre des gains alors qu'ils leur sont communs dans une certaine mesure; ces éléments de coût étant petits vis-à-vis des recettes, ce dernier point n'a cependant pas une grande importance sur le plan pratique.

A. — Influence des facteurs de variation sur le gain dû au croisement

1. Taux de renouvellement dans les noyaux « femelles » :

Vis-à-vis de B_c , la seule influence des taux de renouvellement pratiqués dans les noyaux « femelles » s'exerce par le biais de l'effectif et de l'âge moyen des reproducteurs de ces noyaux. Cet effectif étant très faible relativement au nombre total de reproducteurs de l'ensemble de la population (à peine 1 p. 100), les taux de

renouvellement n'ont pas d'effet notable sur les recettes dues au croisement (α). Bien que l'influence de ces taux sur les coûts proportionnels aux effectifs (ε) soit importante (en particulier du point de vue des coûts d'entretien des reproducteurs des noyaux de sélection), le gain dû au croisement est très peu affecté.

2. Conditions d'actualisation :

L'influence de la durée et du taux d'actualisation sur le gain dû au croisement a été étudiée seulement pour le croisement en retour et pour le croisement triple avec le *Piéttrain*. Dans le cas du croisement en retour, pour lequel l'équilibre démographique est supposé réalisé dès l'instant initial, le gain B_c non actualisé croît linéairement avec le temps. Dans le cas du croisement triple, en dépit de l'existence d'une phase de mise en place, la croissance de B_c non actualisé ne s'écarte pas sensiblement de la linéarité. L'actualisation diminue fortement cette croissance puisque, sur 30 semestres, la valeur de B_c actualisé au taux de 20 p. 100 est à peine le tiers de B_c non actualisé. Les bénéfices dus au croisement atteignent des valeurs considérables au bout de 30 semestres (environ 1,5 milliard de F non actualisés) mais il faut remarquer que ce sont des bénéfices cumulés.

3. Plans de croisement :

Le classement des différents plans de croisement et même leur mérite relatif (tabl. 7) sont pratiquement indépendants des conditions d'actualisation et des taux de renouvellement. Du point de vue du gain dû au croisement, le croisement triple avec le *Landrace Belge* apparaît comme le plan le plus efficace, suivi de près par le croisement triple avec la souche *Large White* « viande ». Le croisement en retour et le croisement triple avec le *Piéttrain* donnent des résultats inférieurs de 15 à 20 p. 100.

TABLEAU 7

Influence du plan de croisement sur le gain dû au croisement B_c
(100 = meilleur plan de croisement)
Influence of the crossbreeding plan on the gain due to crossing B_c
(100 = best crossbreeding plan)

Plan de croisement (crossbreeding plan)	Croisement triple avec (three-way cross with)			Croisement en retour (backcross)
	<i>Landrace Belge</i> (Belgian Landrace)	<i>Large White</i> « viande » (Large White sire strain)	<i>Piéttrain</i> (Pietrain)	
B_c (1)	100	95,1	81,0	85,5

(1) Les valeurs de B_c données dans ce tableau correspondent à une durée d'actualisation de 30 semestres et à un taux d'actualisation de 0 p. 100 (For a discounting period of 30 half-years and a discounting rate of 0 p. 100).

Il est évident que ces résultats sont la conséquence directe des hypothèses faites sur la valeur initiale des races paternelles pour la performance de production et pour l'effet sur la taille de portée. La forte supériorité des croisés *Landrace Belge* pour les caractères de croissance et de carcasse est en partie compensée, vis-à-vis du croisement triple avec le mâle *Large White* « viande », par l'effet favorable de ce dernier sur la taille de la portée à la naissance. Par contre, dans le cas du croisement triple avec le *Piétrain*, dont les descendants croisés ont la même valeur que ceux d'un mâle *Large White* et pour lequel les tailles de portée sont identiques à celles du croisement triple avec le *Landrace Belge*, les recettes sont nettement inférieures. Enfin, on remarquera que le croisement triple n'est pas systématiquement le meilleur plan puisque le croisement en retour donne de meilleurs résultats que l'utilisation du *Piétrain* comme lignée mâle du croisement terminal, avec les valeurs des paramètres qui ont été utilisées ici.

B. — Influence des facteurs de variation sur le gain dû à la sélection

Les facteurs de variation étudiés influençant non seulement la valeur du gain dû à la sélection mais aussi les taux de sélection optimaux à pratiquer, nous présenterons pour chacun de ces facteurs leur influence sur ces deux groupes de variables.

On se souviendra qu'après réduction du nombre de variables, les taux de sélection envisagés sont les taux de sélection sur la prolificité des femelles (r_{1r} et r_{12}) et des mâles (r_{2r} et r_{22}) destinés au renouvellement des deux noyaux « femelles » (respectivement *Large White* et *Landrace Français*), ainsi que les taux de sélection sur la prolificité des mâles issus de ces mêmes noyaux et destinés au renouvellement des étages inférieurs (r_{3r} pour les mâles *Large White*, r_{32} pour les mâles *Landrace Français*).

Dans tous les cas étudiés, les taux optimaux sont identiques dans les deux noyaux ($r_{1r} = r_{12} = r_1$, $r_{2r} = r_{22} = r_2$, $r_{3r} = r_{32} = r_3$). Par la suite, nous présenterons donc les taux correspondants aux reproducteurs issus d'un seul des deux noyaux.

Enfin, rappelons que seuls le croisement en retour et le croisement triple avec le *Piétrain* ont été analysés de façon complète. Pour les deux autres croisements triples, nous nous sommes limités à une durée d'actualisation de 30 semestres et au taux de renouvellement des mâles maximum, ces valeurs apparaissant comme les plus intéressantes au vu des résultats obtenus avec les deux premiers plans.

I. Conditions d'actualisation

a) Effet sur les taux de sélection

De façon générale, les taux de sélection optimaux sur la prolificité décroissent quand la durée d'actualisation augmente ou quand le taux d'actualisation diminue. Dans le cas du croisement en retour, ces taux de sélection ne s'écartent de 100 p. 100 que lorsque le bénéfice est estimé sur 30 semestres, avec un taux d'actualisation inférieur à 20 p. 100. Nous donnons dans le tableau 8 les valeurs optimales de ces taux dans le cas du croisement triple avec le *Piétrain*. On notera que l'effet de la durée d'actualisation sur le taux de sélection des femelles (r_1)

n'obéit pas à la règle énoncée plus haut; en effet le taux r_1 est maximum pour une durée d'actualisation de 20 semestres, dans toutes les situations; d'autre part, contrairement à ce qu'on observe pour les mâles (r_2 et r_3), ce taux varie peu avec la durée.

TABLEAU 8

Taux de sélection optimaux sur la prolificité dans les noyaux « femelles », dans le cas du croisement triple avec le Piétrain, en fonction des conditions d'actualisation et des taux de renouvellement (cas où l'indice de prolificité tient compte de la seule performance de la mère).

Optimum selection rates on litter size in the « female » nucleus herds, in the 3-way cross with Piétrain, according to the discounting parameters and the replacement rates (assuming that selection index on litter size only includes dam performance)

Taux d'actualisation (p. 100) (discounting rate)		0			10			20		
Situation de renouvellement (1) (rule for replacement)	Durée d'actualisation (discounting period) Taux de sélection (2) (selection rates)	10	20	30	10	20	30	10	20	30
		IIIa	r_1	88	94	90	86	94	90	84
	r_2	98	85	71	97	86	75	97	88	79
	r_3	67	56	45	67	56	49	67	59	53
IIIb	r_1	90	94	90	88	94	91	87	94	91
	r_2	95	80	65	95	82	69	96	83	73
	r_3	78	67	54	78	69	59	77	70	63
IIIc	r_1	71	78	71	70	78	72	68	78	73
	r_2	92	72	57	91	74	61	91	77	65
	r_3	59	48	37	59	49	41	59	51	44
III d	r_1	72	79	71	70	79	73	68	79	74
	r_2	87	66	50	87	68	53	87	70	58
	r_3	68	56	44	68	58	49	68	60	53

(1) Voir tableau 1 (See table 1).

(2) En p. 100 (in p. 100).

L'effet des conditions d'actualisation sur les valeurs optimales des taux de sélection sur la prolificité dans les noyaux « femelles » s'explique par l'augmentation avec le temps de l'importance relative, dans le bénéfice B_s , de ce que nous avons appelé l'effet conjoint des deux types de sélection, c'est-à-dire le terme $\Delta G_y \delta \Delta G'_x$ de la relation (10). Du fait de la sélection sur la performance de production, la marge moyenne retirée de la vente des produits terminaux augmente avec le temps. La sélection sur la prolificité est d'autant plus justifiée que cette marge est élevée et on comprend dès lors que l'intérêt de cette sélection augmente avec la durée d'actualisation.

b) *Effet sur le gain dû à la sélection :*

L'effet du taux d'actualisation sur le gain dû à la sélection (en appliquant les taux optimaux de sélection sur la prolificité) est pratiquement le même, quels que soient les taux de renouvellement des reproducteurs des noyaux « femelles », l'information utilisée pour la sélection sur la prolificité et le plan de croisement (tableau 9). L'actualisation diminue d'autant plus ces bénéfices — par rapport à leur valeur non actualisée — que la durée est longue, ce qui traduit l'augmentation dans le temps des recettes instantanées (perçues au cours d'un semestre). Contrairement aux recettes dues au croisement, les recettes dues à la sélection augmentent de façon plus que linéaire avec le temps. Ces recettes ont en effet trois origines comme l'indique la relation (10) : la sélection sur la performance de production ($\Delta G_y \beta$), la sélection sur la prolificité ($\gamma \Delta G'_x$) et l'effet conjoint de ces deux sélections ($\Delta G_y \delta \Delta G'_x$). Comme les taux de sélection optimaux sur la prolificité diminuent quand la durée d'actualisation augmente, la part des deux dernières origines croît avec ce facteur.

Par ailleurs, alors que dans le croisement en retour les deux noyaux de race pure sont sélectionnés de façon identique, dans le croisement triple les truies et verrats du noyau de sélection de la souche mâle ne sont pas choisis sur la prolificité de leur mère. On a donc représenté sur les figures 3A et 3B la part des recettes dues à la sélection sur la prolificité et à l'effet conjoint des deux sélections, dans les recettes totales d'une part, dans les recettes dues à la sélection des deux noyaux *Large White* et *Landrace Français* d'autre part. Dans le cas du croisement en retour, cette part est toujours négligeable (1 p. 100 au maximum) et seul le cas du

TABLEAU 9

Influence des conditions d'actualisation sur le gain dû à la sélection (B_s)
Influence of discounting parameters on the gain due to selection (B_s)

Durée d'actualisation (semestres) <i>length of discounting period (half-years)</i>	Taux d'actualisation (p. 100) <i>discounting rate (p. 100)</i>	Plan de croisement (<i>crossbreeding plan</i>)	
		Croisement en retour (<i>backcross</i>)	Croisement triple avec le <i>Piétrain</i> (<i>3-way cross with Pietrain</i>)
10	0	208 (1)	188
	10	142	126
	20	100	88
20	0	1 504	1 450
	10	742	711
	20	403	382
30	0	4 088	4 020
	10	1 501	1 454
	20	654	632

(1) En millions de francs.

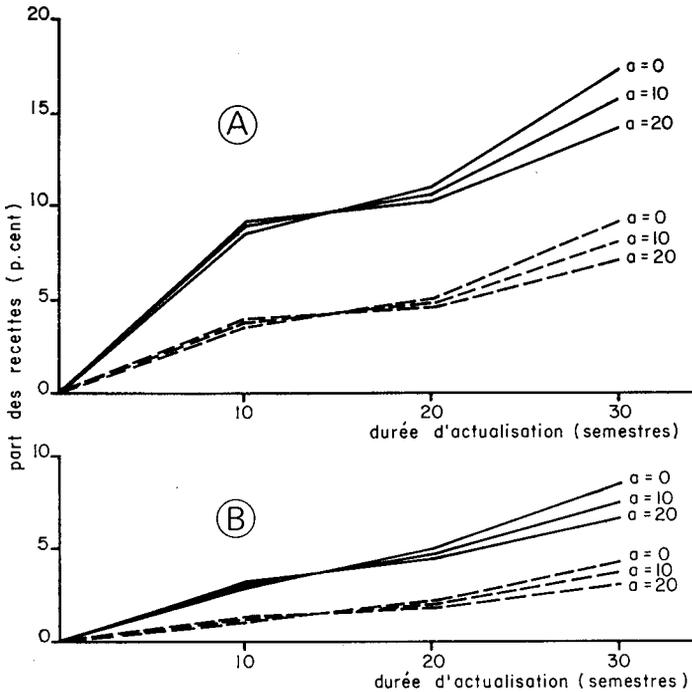


FIG. 3. — Part des recettes due à la sélection sur la prolificité et à l'effet conjoint des deux types de sélection (A) dans les recettes dues à la sélection des deux noyaux « femelles », (B) dans les recettes totales dues à la sélection, en fonction de la durée et du taux d'actualisation (cas du croisement triple avec le Piétrain et de la sélection sur la prolificité de la mère).

Relative importance of the returns due to the selection on litter size and to the joint effect of the two types of selection (A) in the returns due to selection in the two « female » nucleus herds, (B) in the total returns due to selection, as a function of the length of discounting period and discounting rate (case of the 3-way cross with Piétrain and of selection on dam prolificacy).

trait plein : 2 mises bas/femelle, 1 période de saillie/mâle
(full line : 2 farrowings/female, 1 mating period/male)

trait pointillé : 1 mise bas/femelle, 2 périodes de saillie/mâle
(dotted line : 1 farrowing/female, 2 mating periods/male)

a = taux d'actualisation (discounting rate).

croisement triple avec le Piétrain a été représenté, en prenant comme exemple les deux situations de renouvellement les plus extrêmes de ce point de vue. Comme prévu, ces parts augmentent avec la durée d'actualisation. L'influence du taux d'actualisation est moins simple puisqu'elle s'inverse dans le temps, les solutions non actualisées correspondant aux parts les plus grandes pour une durée de 30 semestres. Cependant, les variations de ces parts avec le taux d'actualisation restent faibles. Enfin, on notera que l'importance, dans les recettes dues à la sélection, de celles qui proviennent de la sélection sur la prolificité est assez modeste puisqu'elles ne dépassent jamais 20 p. 100 du total.

Par la suite, sauf indication contraire, les résultats seront donnés pour une durée d'actualisation de 30 semestres et un taux de 10 p. 100, ces valeurs nous semblant les plus raisonnables d'un point de vue économique.

2. Taux de renouvellement des reproducteurs dans les noyaux « femelles »

Les premiers résultats obtenus dans le cas du croisement en retour et du croisement triple avec un mâle *Piétrain* ont montré qu'il est toujours préférable de renouveler les mâles aussi rapidement que possible. Pour les deux autres croisements triples (avec la souche *Large White* « viande » ou le *Landrace Belge*), nous nous sommes donc limités au cas d'une seule période de saillie par mâle dans les noyaux « femelles ».

a) Effet sur les taux de sélection :

Les résultats concernant le croisement triple avec un mâle *Piétrain* figurent au tableau 8. Rappelons que dans le cas du croisement en retour, la sélection sur la prolificité ne se justifie pratiquement jamais, les taux de sélection ne différant notablement de 100 p. 100 que dans le cas des durées d'actualisation longues et dans le cas d'un renouvellement lent des femelles. Les taux de sélection optimaux trouvés pour les deux autres croisements triples obéissent aux mêmes tendances que ceux présentés au tableau 8 et seront discutés ultérieurement.

En ce qui concerne les mâles et les femelles destinés au renouvellement des noyaux de race pure, la sélection sur la prolificité se justifie d'autant plus que les taux de renouvellement sont faibles : en effet, d'une part les possibilités de sélection sont plus grandes (λ_1 et λ_2 sont plus petits), d'autre part l'information sur ce caractère est plus précise quand les truies sont connues sur deux mises bas. L'effet du taux de renouvellement des femelles sur la valeur optimale des taux de sélection est d'ailleurs plus important que celui des mâles.

Le choix des mâles pour le renouvellement des étages inférieurs est moins simple à interpréter puisque le taux optimal de sélection sur la prolificité est minimal dans le cas de deux mises bas par femelle et d'une période de saillie par mâle, maximal dans le cas d'une mise bas par femelle et deux périodes de saillie par mâle et intermédiaire pour les taux de renouvellement simultanément petits ou grands.

b) Effet sur le gain dû à la sélection

Comme on le voit à la figure 4, on a intérêt à renouveler les mâles aussi vite que possible dans les deux plans de croisement qui ont été étudiés de ce point de vue; la réduction du gain dû à la sélection quand on passe d'une à deux périodes de saillie par mâle est plus marquée dans le cas du croisement en retour (environ 5 p. 100) que dans le cas du croisement triple avec le *Piétrain* (2 à 2,5 p. 100). Le taux optimum de renouvellement des femelles varie avec le plan de croisement : il correspond à une mise bas par truie pour le croisement en retour et à deux mises bas par truie pour les croisements triples. Remarquons que pour le croisement en retour, le fait de passer à deux mises bas par truie entraîne une réduction du gain dû à la sélection de 1,3 p. 100 seulement. Pour les croisements triples, le passage de deux à une mise bas par truie entraîne une réduction de ce gain qui atteint près de 3 p. 100 quand la sélection sur la prolificité porte sur l'indice le plus précis (mère + autres apparentées). Ces résultats sur les taux optimaux de renouvellement sont valables quelles que soient les valeurs des autres facteurs de variation.

3. Type d'information sur la prolificité

Rappelons qu'il a été envisagé quatre types d'information : prolificité de la mère seule d'après sa première portée ou d'après ses deux premières portées, prolificité de la mère et d'autres apparentées d'après leur première portée ou d'après

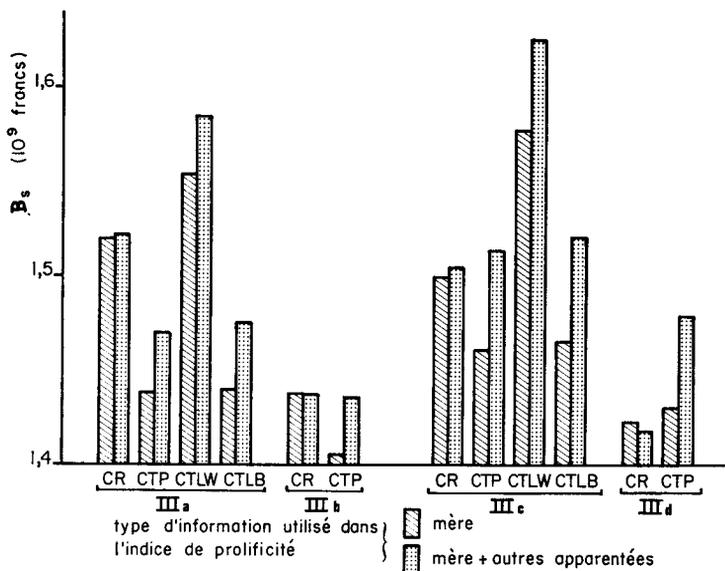


FIG. 4. — Influence des taux de renouvellement dans les noyaux « femelles », du type d'information utilisé dans l'indice de prolificité et du plan de croisement sur le gain dû à la sélection (B_s).

Influence of the replacement rates in the « female » nucleus herds, the type of information used in the selection index on prolificacy and the crossbreeding plan on the gain due to selection (B_s).

CR : croisement en retour (*backcross*)

CTP : croisement triple avec *Piértrain* (*3-way cross with Piértrain*)

CTLW : croisement triple avec souche *Large White* « viande » (*3-way cross with Large White sire strain*)

CTLB : croisement triple avec *Landrace Belge* (*3-way cross with Belgian Landrace*)

III_a, b, c, d : situations de renouvellement (voir tabl. 1)
rules for replacement (see table 1).

leurs deux premières portées. L'influence du nombre de mises bas par femelle a déjà été étudiée puisque ce nombre est en relation directe avec le taux de renouvellement.

L'utilisation pour la sélection d'une information accrue sur la prolificité des femelles apparentées aux candidats permet une augmentation du poids accordé à la prolificité dans le choix des reproducteurs et doit donc se traduire par une diminution des taux de sélection sur ce caractère et une augmentation du gain dû à la sélection.

a) Effet sur les taux de sélection :

On trouvera sur la figure 5 les taux de sélection optimaux à pratiquer sur l'indice de prolificité, pour chacun des plans de croisement. Les conclusions sont identiques pour des conditions d'actualisation ou des taux de renouvellement différents.

En ce qui concerne le croisement en retour, la prise en compte d'une information plus précise sur la prolificité ne modifie pratiquement pas les taux de sélection optimaux sur ce caractère. Pour les croisements triples, ces taux diminuent de 10 à 20 points.

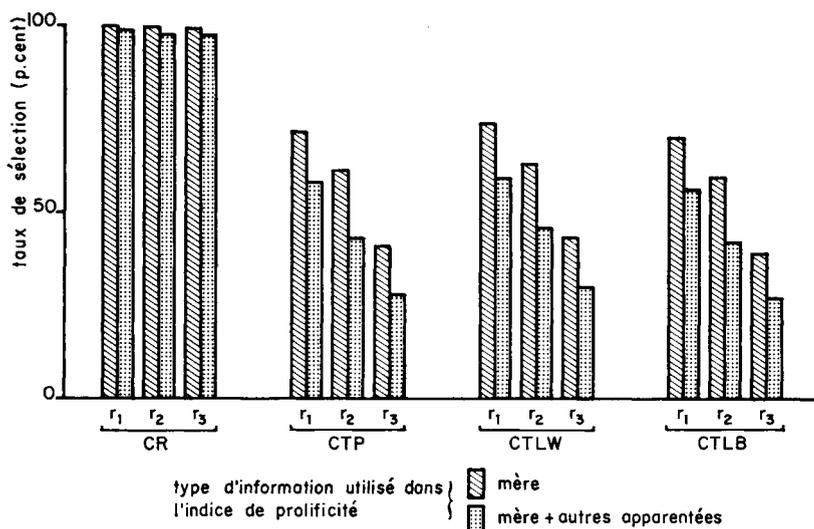


FIG. 5. — Taux de sélection optimaux sur la prolificité dans les noyaux « femelles », en fonction du plan de croisement et du type d'information utilisé dans l'indice de prolificité (ces valeurs correspondent à l'optimum des taux de renouvellement des reproducteurs).

Optimum selection rates on litter size in the « female » nucleus herds, according to the crossbreeding plan and the type of information used in the selection index on prolificacy (these values correspond to the optimum replacement rates of breeding animals).

r_1 = taux de sélection des femelles pour le renouvellement des noyaux
(selection rate of females retained for replacement of nucleus herds)

r_2 = taux de sélection des mâles pour le renouvellement des noyaux
(selection rate of males retained for replacement of nucleus herds)

r_3 = taux de sélection des mâles pour le renouvellement des étages inférieurs
(selection rate of males moved to lower tiers)

CR, CTP, CTLW, CTLB : voir fig. 4 (see fig. 4).

b) Effet sur le gain dû à la sélection :

Comme prévu, dans le cas des croisements triples, la part des recettes due à la sélection sur la prolificité et à l'effet conjoint de la sélection sur ce caractère et de la sélection sur la performance de production est plus importante si les performances de toutes les femelles apparentées sont prises en compte dans la sélection sur la prolificité (tableau 10). Cette part est environ doublée et le gain dû à la sélection est supérieur de 3 à 4 p. 100 à celui qui avait été trouvé précédemment.

En ce qui concerne le croisement en retour pour lequel les taux de sélection sur la prolificité ne sont pratiquement pas modifiés, le gain dû à la sélection est inchangé.

4. Plans de croisement

a) Effet sur les taux de sélection (fig. 5) :

Comme nous l'avons vu à plusieurs reprises, la sélection sur la prolificité ne se justifie pas dans le cas du croisement en retour. En ce qui concerne le croisement triple, les valeurs optimales des taux de sélection sur la prolificité varient avec la race du mâle terminal mais les différences restent minimales.

TABLEAU 10

Influence de la précision de l'indice de sélection sur la prolificité sur l'importance relative (en p. 100) de la part due à la sélection sur la prolificité et à l'effet conjoint des deux types de sélection (1) dans le gain total dû à la sélection (2) dans le gain dû à la sélection des noyaux « femelles » : cas des croisements triples.

Influence of the precision of the selection index on litter size on the relative importance (in p. 100) of the part due to selection on litter size and to joint effect of the two selections (1) in the total gain due to selection (2) in the gain due to selection of the « female » nucleus herds : case of 3-way crosses.

Information utilisée dans l'indice de prolificité (information used in the prolificacy index)		Mère (dam)		Mère + tantes et demi-tantes (dam + aunts and half-aunt)	
		(1)	(2)	(1)	(2)
Croisement triple avec (3-way cross with)	<i>Large White</i> « viande » . . . (<i>Large White</i> sire line)	6,7	14,3	12,7	26,1
	<i>Piétrain</i> (<i>Pietrain</i>)	7,5	15,7	13,9	27,9
	<i>Landrace Belge</i> (<i>Belgian Landrace</i>)	8,1	16,7	14,7	29,4

b) *Effet sur le gain dû à la sélection :*

Conformément aux résultats obtenus pour les taux de sélection, la part du gain due à la sélection sur la prolificité est un peu plus élevée pour le croisement triple avec le *Landrace Belge* que pour le croisement triple avec le *Piétrain* ou le *Large White* « viande » (tabl. 10). Cependant, sur le plan des gains totaux dus à la sélection, l'utilisation d'une souche *Large White* « viande » comme lignée mâle terminale est supérieure aux autres plans de croisement (fig. 4). En outre, en supposant que les taux de renouvellement optimaux dans les noyaux « femelles » sont pratiqués pour chaque plan de croisement, le croisement en retour, vis-à-vis du gain dû à la sélection, présente un léger avantage sur les croisements triples avec le *Piétrain* ou le *Landrace Belge* quand l'indice de sélection sur la prolificité inclut toute l'information sur les apparentées mais cet avantage est plus substantiel quand l'indice de prolificité n'inclut que les performances de la mère. Il apparaît en définitive que l'effet de la lignée mâle terminale sur la taille de portée a une influence déterminante sur les différences de rentabilité de la sélection.

C. — *Résultats globaux*

Un schéma d'amélioration génétique est défini ici par le plan de croisement et le plan de sélection mis en œuvre. Ce dernier est caractérisé par les taux de renouvellement et de sélection pratiqués. De façon générale, on peut se poser deux questions :

1. — Quel est le schéma le plus intéressant, c'est-à-dire apportant le bénéfice maximum ?
2. — Quel est l'intérêt pratique de la sélection sur la prolificité dans ce schéma ?

1. Détermination du schéma d'amélioration génétique optimum

Le bénéfice total (B) résultant de l'application des différents schémas d'amélioration génétique étudiés est la somme du gain dû à la sélection (B_s) et du gain dû au croisement (B_c). Ce dernier n'étant pas affecté par les taux de sélection sur la prolificité et étant très peu affecté par les taux de renouvellement dans les noyaux « femelles », au moins pour la marge de variation envisagée pour ceux-ci, les valeurs de ces taux qui maximisent B sont celles qui maximisent B_s : elles ont été données au paragraphe B.2.b et à la figure 5, pour une durée d'actualisation de 30 semestres et un taux d'actualisation de 10 p. 100.

Les bénéfices B, B_c et B_s qui correspondent à ces valeurs optimales pour les quatre plans de croisement sont représentés sur la figure 6.

Le croisement triple avec le *Piétrain* est inférieur au croisement en retour aussi bien pour le gain dû à la sélection que pour le gain dû au croisement, et donc pour le bénéfice total. Le croisement triple avec la souche *Large White* « viande » est supérieur au croisement en retour pour les deux catégories de gains et se révèle le plus intéressant des quatre plans de croisement. Le croisement triple avec le *Landrace Belge* est le plus efficace en ce qui concerne le gain dû au croisement mais il ne permet pas d'espérer un gain dû à la sélection aussi élevé que le croisement en retour : toutefois, il est globalement supérieur à ce dernier.

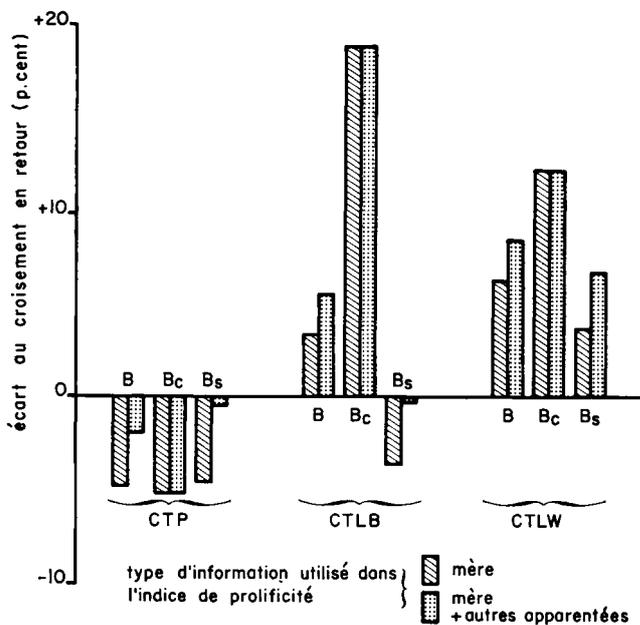


FIG. 6. — Bénéfice total (B), gain dû au croisement (B_c) et gain dû à la sélection (B_s) pour chacun des plans d'amélioration génétique (exprimés en écart au croisement en retour).

Total benefit (B) gain due to crossing (B_c) and gain due to selection (B_s) in each plan of genetic improvement (in deviation from the backcross).

CTP, CTLB, CTLW : voir fig. 4 (see fig. 4).

TABLEAU II

Apport de la sélection sur la prolificité dans le bénéfice total (B) et dans le gain dû à la sélection (B_s) dans le cas des croisements triples (1)

Increase of the total benefit (B) and the gain due to selection (B_s) as a result of selection on prolificacy in the case of 3-way crosses

Information utilisée dans l'indice de prolificité (<i>information used in the prolificacy index</i>)		Mère (dam)		Mère + tantes et demi-tantes (dam + aunts and half-aunts)	
		B	B _s	B	B _s
Croisement avec (3-way cross with)	<i>Large White « viande »</i> (Large White sire strain)	1,6	2,4	3,7	5,6
	<i>Piértrain</i> (Pietrain)	1,9	2,7	4,4	6,3
	<i>Landrace Belge</i> (Belgian Landrace)	1,9	2,8	4,4	6,8

(1) En pourcentage des valeurs de B et B_s correspondant à la situation où la prolificité n'est pas prise en compte dans la sélection. (*In p. cent of the values of B and B_s corresponding to the case where no selection is made on litter size.*)

2. Importance de la sélection sur la prolificité dans la situation optimale pour chaque plan de croisement

Nous avons vu que les taux optimaux de sélection sur l'indice de prolificité sont très différents de 100 p. 100 dans le cas des croisements triples et que la part due à la sélection sur ce caractère et à l'effet conjoint des deux types de sélection dans les gains totaux dus à la sélection varie entre 6 et 15 p. 100 selon le plan de croisement et le type d'information utilisé dans l'indice de prolificité. Cependant, l'effort de sélection total, caractérisé par les paramètres λ_1 , λ_2 et λ_3 , est fixé et la valeur moyenne des reproducteurs pour les caractères de croissance et d'adiposité est inférieure avec ce choix optimal à celle qui serait obtenue si la sélection portait seulement sur ces caractères. On trouvera, au tableau II, le surcroît de gains dus à la sélection d'une part, le surcroît de bénéfice total d'autre part, que la sélection préalable sur la prolificité permet d'espérer, par rapport à la situation d'une sélection sur la seule performance de production.

L'introduction de la sélection sur la prolificité apporte relativement peu à la rentabilité des schémas : l'augmentation du bénéfice total et des gains dus à la sélection ne dépasse pas respectivement 5 et 7 p. 100. Toutefois, il est bon de remarquer qu'en valeur relative, ce supplément est du même ordre de grandeur que les différences trouvées entre plans de croisement pour les deux mêmes critères (fig. 6). En particulier, quand on applique les valeurs optimales des taux de renouvellement et de sélection, l'avantage du croisement triple avec un mâle *Large White* « viande » sur le croisement en retour n'est que de 8,6 p. 100 pour le bénéfice total.

IV. — Discussion et conclusions

Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés sont, comme dans toute étude prévisionnelle de ce genre, étroitement liées à la fois aux hypothèses de base du modèle choisi et aux valeurs données aux paramètres fixés de ce modèle. L'ampleur même du problème posé et la nécessité, pour des raisons de volume des calculs, de limiter le nombre de variables nous ont imposé de faire de nombreux choix *a priori* : aussi importe-t-il de bien garder à l'esprit les hypothèses du modèle et les valeurs des paramètres fixés pour apprécier la signification réelle de nos résultats. Certaines hypothèses méritent d'être brièvement discutées avant de commenter les résultats et de tirer les principales conclusions de cette étude.

1. — *Remarques sur le modèle.*

L'un des problèmes soulevés par les études économiques sur les schémas d'amélioration génétique des espèces domestiques est le choix des conditions d'actualisation et en particulier du taux d'actualisation. Ce dernier point a été discuté récemment par SMITH (1978) qui estime trop élevés les taux communément retenus (8 à 15 p. 100) dans les études génético-économiques, dans la mesure où ils conduisent à sous-estimer la valeur des recettes résultant des gains génétiques espérés. Il juge préférable d'en soustraire le taux d'inflation et, sur cette base, propose d'utiliser un taux d'actualisation de 3 p. 100 dans ce type d'étude. Si l'on adopte cette ligne de conduite, il y a lieu de considérer comme les plus intéressants les résultats obtenus ici pour les valeurs 0 et 10 p. 100 du taux d'actualisation, qui encadrent la valeur recommandée par SMITH. On peut estimer cependant qu'indépendamment de l'aspect strictement monétaire, le choix d'un taux d'actualisation relativement élevé (10 p. 100 par exemple) est une façon de prendre en compte le facteur « risque » inhérent à tout investissement et que cette attitude semble particulièrement souhaitable si l'on se place du point de vue d'une entreprise privée comme nous l'avons fait ici d'une certaine manière. De toute façon le choix final de tel ou tel taux d'actualisation revient au « décideur » et dans une étude prévisionnelle comme celle-ci, il est préférable de donner les résultats pour une gamme de taux d'actualisation.

Par ailleurs, il convient d'attirer l'attention sur le caractère un peu artificiel du cadre économique de cette étude : il s'agit d'une organisation économique complètement « intégrée », où toutes les décisions sont prises par un maître-d'œuvre unique, dont le volume de production est suffisamment petit vis-à-vis de la production nationale pour que ces décisions n'aient pas de répercussion sur les conditions du marché, en particulier les prix, et dont l'objectif est de maximiser le bénéfice qu'elle retire de la production de viande de porc, le nombre de mères de l'étagé terminal étant supposé fixé. Sur ce dernier point, d'autres hypothèses auraient pu être faites : par exemple, dans la ligne des études de MOAY (1966) et de DICKERSON (1973), nous aurions pu supposer la constance du nombre de porcs vendus. Quant à l'hypothèse d'intégration, elle soulève le problème important des relations entre les partenaires d'un tel schéma : la difficulté de ce problème est évoquée par RICHARD et WILSON (1974).

En ce qui concerne le modèle démographique, nous avons en particulier supposé que la population des femelles était en état d'équilibre à l'instant initial, le plan de croisement en retour étant appliqué depuis un temps assez long pour que

les effectifs des cohortes de femelles ne varient plus d'une période à la suivante. De la même façon, dans le cas des croisements triples, nous avons fait l'hypothèse que le passage à l'utilisation exclusive de verrats de la lignée mâle spécialisée dans les élevages de production était réalisé le plus rapidement possible. Le problème de la mise en place d'un plan de croisement dans une population ne peut être étudié de façon complète à l'aide du type de modèle que nous avons utilisé : la programmation linéaire pourrait être un bon outil pour une telle analyse (CHAPPUIS et SOURIE, 1974). Il est probable en particulier qu'au cours de cette phase de mise en place, le plan de sélection optimal à appliquer dans les noyaux « femelles » soit différent de celui que nous proposons.

Nous avons supposé qu'il y avait, parmi les truies F_1 des élevages commerciaux, autant de filles de mâles *Large White* que de filles de mâles *Landrace Français* et que dans le croisement en retour, ces femelles étaient accouplées à parts égales à des mâles de ces deux races. Cette situation ne correspond pas à l'optimum du gain dû au croisement. D'une part, un avantage des filles de verrats *Landrace* et de truies *Large White* sur les femelles issues du croisement réciproque a été trouvé pour la taille de portée au sevrage : cet avantage est de 0,07 porcelet dans l'étude de SMITH et KING (1964) et de 0,21 porcelet dans l'étude de LEGAULT *et al.* (1975). D'autre part, dans le croisement en retour, l'utilisation exclusive de verrats *Large White* dans l'étage terminal conduirait à des recettes dues au croisement plus importantes puisque le mâle *Large White* présente un avantage, vis-à-vis du verrot *Landrace Français*, à la fois pour la marge unitaire et pour l'effet sur la taille de portée. Il est donc évident que sur le plan du gain dû au croisement, la situation retenue ici pour l'option croisement en retour (égale répartition entre les quatre types génétiques possibles) est inférieure à la situation où tous les produits terminaux proviennent du croisement entre verrats *Large White* et truies F_1 filles de verrats *Landrace Français*; le croisement en retour s'en trouve très probablement défavorisé par rapport aux croisements triples mais l'égale répartition des types génétiques nous a paru être la situation de référence la plus appropriée à l'heure actuelle. La situation optimale de ce point de vue serait une situation de compromis tenant compte des coûts d'entretien des noyaux de race pure et variant avec le niveau génétique des reproducteurs, donc d'un semestre à l'autre.

Nous avons fait l'hypothèse que les paramètres génétiques sont constants dans le temps, qu'il s'agisse des variances et covariances génétiques ou des effets d'hétérosis. La corrélation génétique entre taille de portée et performance de production a été supposée nulle : cette hypothèse est étayée, nous l'avons vu, par la plupart des résultats expérimentaux disponibles mais il est probable, au vu des conclusions de SMITH (1964), que l'existence d'une corrélation génétique défavorable aurait des conséquences importantes sur les réponses au problème que nous avons abordé. Pour évaluer l'effet du croisement, nous avons supposé que l'effet d'hétérosis, exprimé en unité physique du caractère, était invariant dans le temps, donc indépendant de la moyenne des races parentales, laquelle évolue du fait de la sélection. Cette hypothèse, qui a l'avantage de conduire à des calculs plus simples, peut être discutée : le problème d'une variation éventuelle de l'effet d'hétérosis pour un caractère dont la moyenne est modifiée par la sélection des populations parentales (en supposant évidemment qu'il n'y a d'accroissement du coefficient de consanguinité moyen de celles-ci) ne semble pas de toute façon avoir reçu de réponse sur le plan expérimental chez le Porc, comme le remarque SELLIER (1976b).

En ce qui concerne les hypothèses pouvant avoir une influence sur l'efficacité globale de la sélection et donc sur le bénéfice total, plusieurs points sont à souligner :

- l'hypothèse d'ajustement des effectifs des noyaux de sélection aux besoins de renouvellement des étages inférieurs pourrait être levée : une taille plus grande des noyaux de race pure et donc un nombre plus grand de candidats à la sélection permettraient d'augmenter les pressions de sélection et d'accroître la valeur génétique des reproducteurs destinés aux étages de multiplication et de production. Il faudrait alors déterminer la taille optimum des noyaux de sélection, compte tenu des coûts de production et de contrôle des candidats supplémentaires et de l'accroissement de supériorité génétique des animaux retenus. On peut rappeler les conclusions de BICHARD et WILSON (1974) au sujet de la politique de renouvellement des femelles dans une structure de multiplication identique à celle considérée ici : comparant le bénéfice par porc et le coût de sélection et de multiplication (« *selection and multiplication overhead* »), ils ont montré que la meilleure solution consiste à transférer toutes les jeunes truies disponibles des noyaux de sélection aux élevages de multiplication d'une part, des élevages de multiplication aux élevages de production d'autre part. Cette conclusion rejoint l'hypothèse que nous avons retenue;
- nous avons supposé négligeable l'accroissement des pressions de sélection résultant du progrès génétique pour la taille de portée et donc de l'augmentation du nombre de candidats à la sélection. Cette hypothèse, raisonnable avec les durées d'actualisation envisagées, conduit à sous-estimer à très long terme l'intérêt de la sélection sur la prolificité et sans doute aussi à défavoriser les plans de croisement dans lesquels, d'après nos résultats, cette sélection se justifie. Dans le même ordre d'idées, on peut noter que les taux de sélection trouvés sont des taux moyens estimés pour l'ensemble de la durée d'actualisation et qu'une analyse plus fine devrait fournir les taux de sélection optimaux pour chaque période. Ce nouveau problème comprendrait non plus 6 mais $6T$ variables, T étant la durée d'actualisation. En pratique, pour des raisons de coût de calcul, la méthode d'optimisation que nous avons utilisée ne pouvait permettre la résolution d'un problème de cette taille;
- LEGAULT (1970a) a montré que, dans le cas d'une sélection en deux étapes — sur la prolificité de la mère avec un taux r , puis sur la performance de production avec un taux p —, les possibilités totales de sélection dépendent de la taille moyenne des familles retenues après le premier stade, cette taille augmentant avec la pression de sélection sur la prolificité de la mère. En toute rigueur le produit rp des taux de sélection n'est donc pas égal au paramètre λ tel qu'il a été défini ici mais à $\lambda\mu / (\mu + \sigma)$ où μ et σ sont la moyenne et l'écart-type phénotypique de la taille de portée et ι l'intensité de sélection sur ce caractère. Si la simplification que nous avons adoptée est sans effet dans le cas du croisement en retour où pratiquement aucune sélection sur la prolificité n'est à envisager ($\iota = 0$), elle défavorise légèrement les croisements triples pour lesquels le gain dû à la sélection a été sous-estimé, sans que l'on puisse préciser *a priori* comment cette possibilité supplémentaire de sélection se répartit à l'optimum entre les deux groupes de caractères.

2. — Conclusions générales.

Les résultats concernant l'influence de la durée et du taux d'actualisation sont, dans l'ensemble, conformes à ce qu'on pouvait prévoir et appellent peu de commentaires. Les deux conclusions les plus nettes sont les suivantes :

- le fait de faire varier les conditions d'actualisation n'affecte pas de façon sensible le mérite relatif des plans de croisement;
- dans le cas des croisements triples, l'intensité optimale de sélection sur la prolificité dans les noyaux « femelles » est d'autant plus forte que la durée d'actualisation est plus longue et le taux d'actualisation plus faible ou, en d'autres termes, que l'on donne plus de « poids » au long terme.

Dans le même ordre d'idées et toujours dans le cas des croisements triples, le fait d'accroître la précision de l'estimation des valeurs génétiques pour la prolificité — en utilisant dans l'indice de sélection non seulement l'information relative à la mère des candidats mais aussi celle relative à d'autres apparentées — a pour conséquence de justifier une pression de sélection plus forte sur ce caractère dans les noyaux « femelles » : ce résultat était attendu dans la mesure où cet accroissement de précision de l'indice de prolificité est supposé n'entraîner aucun coût de sélection supplémentaire. L'utilisation de cet indice de sélection plus précis, dans le cas des croisements triples, a pour autres conséquences de doubler environ, dans le gain dû à la sélection, la part des recettes dues à la sélection sur la prolificité et à ce que nous avons appelé l'effet conjoint des deux types de sélection, et aussi d'augmenter de 3 à 4 p. 100 le gain total dû à la sélection. Par contre, dans le cas du croisement en retour, l'accroissement de la précision de l'indice n'apporte aucun changement quant à l'intérêt de la sélection sur la prolificité dans les deux noyaux de race pure.

Les taux de renouvellement des reproducteurs des deux sexes dans les noyaux « femelles » sont pratiquement sans influence sur le gain dû au croisement et sur la valeur comparée des plans de croisement. Par contre — et bien que nous n'ayons envisagé ici qu'une amplitude de variation restreinte pour ces taux, visant à « encadrer au plus près » les valeurs optimales trouvées dans diverses situations par OLLIVIER (1974) — ils ont une influence notable sur le gain dû à la sélection. L'effet le plus net concerne le taux de renouvellement des mâles dans le cas du croisement en retour : la différence entre les deux variantes étudiées pour ce taux atteint 5 p. 100.

De façon plus générale, la meilleure politique de sélection dans les noyaux « femelles » (taux de sélection et de renouvellement) dépend du plan de croisement pratiqué. Il s'agit là, à notre sens, de l'une des conclusions intéressantes de cette étude et les résultats sur ce point peuvent être résumés ainsi :

- dans le cas du croisement en retour, la sélection sur la prolificité dans les noyaux de race pure ne se justifie pratiquement jamais, même dans la situation *a priori* la plus « favorable » (conditions d'actualisation privilégiant le long terme et précision accrue de l'indice de sélection sur la prolificité). Par ailleurs, il y a intérêt à renouveler le plus vite possible les reproducteurs des deux sexes, c'est-à-dire à réformer les mâles après une période de saillie et les femelles après leur première portée. Nous retrouvons là un résultat proche de celui obtenu par OLLIVIER (1974) dans la situation correspondante (sélection individuelle sur la performance de production);
- dans le cas des trois croisements triples étudiés, la sélection sur la prolificité se justifie dans les noyaux « femelles » : sur une durée de 15 ans et avec un taux d'actualisation de 10 p. 100, l'application des taux de sélection optimaux sur l'indice de prolificité incluant l'information relative à la mère et à d'autres apparentées du candidat permet d'accroître d'environ 6 p. 100 le gain dû à la sélection, par rapport à la situation où la prolificité est ignorée dans la sélection. Ces taux de sélection optimaux sont de l'ordre de 50 à 60 p. 100 pour le renouvellement des femelles des noyaux (chaque femelle est conservée pour

deux mises bas) et de l'ordre de 40 p. 100 pour le renouvellement des mâles des noyaux (chaque mâle est utilisé pendant une période de saillie). Ces valeurs optimales varient peu avec la race du mâle terminal mais il est intéressant de noter que les petites différences trouvées vont dans le sens des conclusions de l'étude de MOAV et HILL (1966) : les taux de sélection optimaux sur la prolificité sont d'autant plus faibles que la race paternelle a un effet plus défavorable sur la taille de portée (comparaison entre *Large White* « viande » et *Piétrain*) et que ses produits de croisement ont une valeur supérieure pour la performance de production (comparaison entre *Landrace Belge* et *Piétrain*).

Remarquons aussi que par rapport au croisement en retour où il n'y a pas de sélection sur la prolificité, le taux optimum de renouvellement est inchangé pour les mâles mais qu'il y a intérêt à conserver plus longtemps les femelles; OLLIVIER (1974) est arrivé à un résultat analogue quand il a comparé les âges optimaux à la réforme des reproducteurs des deux sexes dans le cas de la sélection sur la performance de production et dans le cas de la sélection sur la taille de portée; dans ce dernier cas, la précision de la sélection est fonction du nombre de portées par femelle et donc de l'âge de réforme des truies.

A l'origine de cette « interaction » entre plan de croisement et plan de sélection des noyaux « femelles », il y a le fait que dans le croisement en retour, l'amélioration de la performance de production des produits terminaux dépend uniquement du progrès génétique des noyaux « femelles » de ce point de vue alors que dans le cas des croisements triples, seulement 50 p. 100 des gènes des produits terminaux proviennent de ces noyaux. L'effort de sélection dans les noyaux « femelles » doit être consacré en totalité à l'amélioration de la performance de production dans le cas du croisement en retour. Par contre, il y a intérêt, dans le cas des croisements triples, à consacrer une partie de cet effort de sélection à l'amélioration de la prolificité : en d'autres termes, l'utilisation d'une lignée mâle spécialisée, distincte des deux races maternelles, nécessite une plus grande spécialisation, par voie de sélection, de ces dernières.

En ce qui concerne la valeur relative des quatre plans de croisement, nos résultats appellent trois séries de commentaires.

La nature de ces résultats est étroitement dépendante des hypothèses que nous avons faites sur la valeur *initiale* des différents types génétiques pour les performances de reproduction et de production. Sur ce plan, deux effets, par leur ampleur même, ont une répercussion prépondérante sur la productivité de l'étage terminal : l'avantage du vertrat *Large White* pour la taille de portée (de l'ordre de 7 p. 100) et la supériorité du vertrat *Landrace Belge* pour la valeur de la marge unitaire de ses produits de croisement (comprise entre 8 et 12 p. 100). L'avantage du *Large White* sur les trois autres races, quant à l'effet de la race paternelle sur le nombre de porcelets sevrés dans les portées issues de truies F_1 , a été pris égal à 0,6, chiffre qui correspond aux résultats tout à fait concordants de SMITH et KING (1964) et de VAN DE PAS *et al.* (1973); il semblerait, au vu de résultats plus récents (FENDER *et al.*; 1975; COUANON, 1977), que la supériorité réelle du vertrat *Large White* de ce point de vue soit moins nette. Cet exemple illustre bien, à notre avis, les limites de telles études prévisionnelles sur les schémas d'amélioration génétique : les conclusions, ou au moins certaines d'entre elles, sont à considérer avec prudence, du fait de l'incertitude qui subsiste sur la valeur vraie d'un certain nombre de paramètres génétiques.

Il est intéressant de rapprocher les différences que nous avons trouvées entre plans de croisement pour le gain dû au croisement et celles qu'on peut déterminer de façon plus simple en s'inspirant de la méthode de MOAV (1966) : rappelons que

cette méthode consiste à calculer la valeur d'une fonction de rentabilité (« *profit function* ») qui vise à estimer le bénéfice par porc produit dans l'étage terminal. En reprenant les mêmes paramètres génétiques et économiques, ce calcul conduit aux résultats suivants : le meilleur plan est le croisement triple avec le *Landrace Belge* (base 100), suivi dans l'ordre du croisement triple avec la souche *Large White* « viande » (88,7), du croisement en retour (77,9) et du croisement triple avec le *Piétrain* (75,4). Le classement des quatre plans est donc inchangé par rapport à celui qui est fourni ici par le gain dû au croisement. Il y a également un bon accord entre les deux méthodes quant à la valeur relative des trois derniers plans mais, par contre, la fonction de rentabilité confère au croisement triple avec le *Landrace Belge* un avantage plus net que celui trouvé ici. En dépit de cette discordance dont la raison ne nous apparaît pas clairement, l'approche simplifiée qui consiste à déterminer la productivité du seul étage terminal permet, au moins dans un premier temps, de bien évaluer le mérite relatif de plusieurs plans de croisement pour le gain dû au croisement.

Enfin, — et c'est une autre conclusion qui mérite d'être soulignée — le gain dû au croisement ne suffit pas à caractériser le mérite d'une stratégie de croisement : ce gain traduit l'efficacité immédiate du plan de croisement lui-même mais il y a lieu de tenir compte aussi des recettes qu'un effort de sélection « adapté » à ce plan permet d'espérer à long terme. Ainsi le croisement triple avec le *Landrace Belge* est, nous l'avons vu, la meilleure stratégie du point de vue du seul croisement mais si l'on considère le bénéfice total calculé en supposant que, dans chaque cas, le plan optimum de sélection est pratiqué, le croisement triple avec la souche *Large White* « viande » donne les meilleurs résultats, du fait d'une meilleure valorisation globale des actions de sélection, sur la période de 15 ans qui a été considérée.

Au-delà des résultats chiffrés qui ne donnent que des éléments de réponse partiels et dont certains, répétons-le, sont à interpréter avec prudence car ils reposent sur des hypothèses très fortes quant à leur incidence mais encore sujettes à caution, nous pensons que cette étude démontre la nécessité d'envisager conjointement l'optimisation du croisement et l'optimisation de la sélection quand on recherche la meilleure stratégie à moyen et long terme pour l'amélioration génétique d'une espèce.

Reçu pour publication en décembre 1978.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les deux lecteurs du manuscrit, le Dr M. BICHARD (Pig Improvement Company) et le Dr W. SCHLOTE (Université d'Hohenheim) pour leurs utiles critiques et suggestions, ainsi que leurs collègues C. LEGAULT, J. C. MOCQUOT et L. OLLIVIER pour l'aide apportée à différents stades de réalisation de cette étude.

Summary

A joint study of the advantage of the selection on litter size and the use of a specialized sire line in the Pig

The joint optimization of several genetic decisions was studied in the case of a pig population which presents a three-tier structure of dissemination of genetic progress (selection, multiplication, production) and where a terminal two-stage cross is made involving *Large White*

(*LW*) × *French Landrace* (*LF*) dams. The number of these crossbred dams was supposed constant and the numbers of breeding animals in the upper tiers were adjusted to the replacement needs of the commercial herds, natural mating being only used. Two types of problems were investigated:

- *choice of the terminal sire line*: we compared the backcrossing system (using *LW* and *LF* boars equally) and three 3-way crosses with a specialized sire line: *Belgian Landrace*, *Pietrain* and « *LW sire strain* » different from the *LW dam strain*.
- *choice of the selection plan of the « female » nucleus herds* (*LW* and *LF*) or, more precisely, determination of the optimum for the selection rates on litter size (using an index with variable precision) and the replacement rates of boars and sows.

The criterion to be maximized is the discounted profit brought by the production of pig meat over the whole « integrated » population. This profit, estimated for different discounting rates and periods of time, was splitted into two components: the « gain due to crossing » and the « gain due to selection ». In the latter gain, we can distinguish returns due to the selection on production performance, returns due to the selection on litter size and returns due to the « joint effect » of these two selections.

Under our assumptions for the fixed parameters of the model, the main conclusions are:

- the optimum policy of selection in the « female » nucleus herds depends on the type of terminal cross. More particularly, selection on litter size is not of practical interest when making backcross but is justified in the 3-way crossing systems where applying optimum selection rates on litter size gives an increase of the gain due to selection, relatively to the case where litter size is not considered for selection: this increase may go up to 6 p. 100;
- the gain due to crossing is not sufficient for assessing the overall merit of a strategy of crossing. So the 3-way cross with *Belgian Landrace* is the best strategy from this view point but if we refer to the total profit, estimated with the assumption that in each case the optimum selection plan is applied, the 3-way cross with « *LW sire strain* » gives the best result, because selection work is more beneficial with that cross on the 15-year period considered.

Références bibliographiques

- BERRUECOS J. M., DILLARD E. U., ROBISON O. W., 1970. Selection for low backfat thickness in swine. *J. Anim. Sci.*, **30**, 844-848.
- BICHARD M., 1971. Dissemination of genetic improvement through a livestock industry. *Anim. Prod.*, **13**, 401-411.
- BICHARD M., 1977. Economic efficiency of pig breeding schemes : a breeding company view. *Livest. Prod. Sci.*, **4**, 245-254.
- BICHARD M., WILSON A., 1974. Economic aspects of dissemination of genetic improvement throughout a crossbred pig structure. In *Proceedings of the Working Symposium on Breed Evaluation and Crossing Experiment with Farm Animals*, 289-296, Institut voor Veeteeltkunding Onderzoek « Schoonoord », Zeist, Pays-Bas.
- BRUN J.-M., 1974. Optimisation génétique et économique du croisement dans l'espèce porcine; application au cas du croisement entre les races *Large White* et *Landrace*. *Mémoire de fin d'études*, I.N.A. Paris-Grignon.
- CHAPPUIS P., SOURIE J. C., 1974. Modélisation de l'introduction d'un croisement à double étage dans un troupeau ovin. *Document du Laboratoire d'économie rurale de Thiverval-Grignon*, I.N.R.A., 34 pp.
- COUANON Nicole, 1977. Performances de reproduction comparées en race pure et en croisement. *Bulletin de l'Institut technique du Porc 1977*, **3**, 9-16.
- CUNNINGHAM E. P., 1973. Cost-effectiveness and population structure in cattle breeding programs. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **5**, 239-256.
- DICKERSON G. E., 1973. Inbreeding and heterosis in animals. In *Proceedings of the Animal Breeding and Genetics Symposium in honor of Dr J. L. Lush*, 54-77, A.S.A.S., A.D.S.A., Champaign, Illinois, U.S.A.
- DICKERSON G. E., HAZEL L. N., 1944. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *J. agric. Res.*, **69**, 459-476.
- ELSEN J. M., MOCQUOT J. C., 1974. Méthode de prévision de l'évolution du niveau génétique d'une population soumise à une opération de sélection et dont les générations se chevauchent. In *Bull. tech. Dép. Génét. anim. (Inst. nat. Rech. agron., Fr.)*, n° 17, chap. II, 30-54.

- ENGLAND M. E., CUNNINGHAM P. J., MANDIGO R. W., ZIMMERMAN R. W., 1977. Selection for ovulation rate in swine : correlated response in carcass traits. *J. Anim. Sci.*, **45**, 983-988.
- FAURE P., HUARD P., 1965. Résolution de programmes mathématiques à fonction non linéaire par la méthode du gradient réduit. *Revue Rech. opér.*, **36**, 167-206.
- FENDER M., RITTLER A., SCHLOTE W., FEWSON D., 1975. Ergebnisse des Hybridzuchtversuches in Baden-Württemberg. I. Mitteilung : Versuchsanlage und Zuchtleistungsprüfung. *Schweinezucht- u. Schweinemast*, **23**, 60-64.
- GARNETT I., RAHNEFELD G. W., 1976. Mass selection for post-weaning growth in swine. V. Correlated response of reproductive traits and pre-weaning growth. *Can. J. Anim. Sci.*, **56**, 791-801.
- GRAY R. C., TRIBBLE I. F., DAY B. N., LASLEY J. F., 1965. Five generations of selection for thinner backfat. *J. Anim. Sci.*, **24**, 848 (Abst.).
- HAZEL L. N., LUSH J. L., 1942. The efficiency of three methods of selection. *J. Hered.*, **33**, 393-399.
- HETZER H. O., MILLER R. H., 1970. Influence of selection for high and low fatness on reproductive performance of swine. *J. Anim. Sci.*, **30**, 481-495.
- HILL W. G., 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Anim. Prod.*, **18**, 117-140.
- JAKUBEC V., FEWSON D., 1970. Ökonomische und genetische Grundlagen für die Planung von Gebrauchskreuzungen beim Schwein. 2. Mitteilung : Modellrechnungen über die Wirksamkeit verschiedener Formen von Gebrauchskreuzungen beim Schwein. *Züchtungskunde*, **42**, 294-309.
- LEGAULT C., 1970a. Recherche d'un taux optimum de sélection des jeunes truies sur la prolificité de leur mère. In *Journées de la Recherche Porcine en France 1970*, 241-249, Institut technique du Porc, Paris.
- LEGAULT C., 1970b. Étude statistique et génétique des performances d'élevage des truies de race *Large White*. II. Effet direct du vertrat, héritabilité, répétabilité, corrélation. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **2**, 209-227.
- LEGAULT C., 1971a. Rôle de la sélection et des croisements dans l'amélioration de la productivité de la truie. *Bull. tech. Inf. Ingrs Servs agric.*, **257**, 221-229.
- LEGAULT C., 1971b. Corrélations entre les performances d'engraissement et de carcasse et les performances d'élevage chez le Porc. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **3**, 153-160.
- LEGAULT C., DAGORN J., TASTU D., 1975. Effets du mois de mise bas, du numéro de portée et du type génétique de la mère sur les composantes de la productivité de la truie dans les élevages français. In *Journées de la Recherche Porcine en France 1975*, XLIII-LII, Institut technique du Porc, Paris.
- LEGAULT C., OLLIVIER L., 1974. Plans de sélection porcine. In *1^{er} Congrès Mondial de Génétique Appliquée à l'Élevage* (Madrid), vol. 1, 823-835, Editorial Garsi, Madrid.
- LUSH J. L., 1937. *Animal Breeding Plans* (1^{re} édition). Iowa State College Press, Ames, Iowa, U.S.A.
- MOAV R., 1966. Specialized sire and dam lines. I. Economic value of crossbreds. *Anim. Prod.*, **8**, 193-202.
- MOAV R., HILL W. G., 1966. Specialized sire and dam lines. IV. Selection within lines. *Anim. Prod.*, **8**, 375-387.
- MOLÉNAT M., HOUIX Y., POULENC J., 1974. Contrôles d'engraissement et de carcasse en station chez les porcins : bilan et réflexions (1967-1973). *Bull. tech. Dép. Génét. anim. (Inst. nat. Rech. agron., Fr.)* n° **18**, 104 pp.
- MORRIS C. A., 1975. Genetic relationships of reproduction with growth and with carcass traits in British pigs. *Anim. Prod.*, **20**, 31-44.
- NEWTON J. R., CUNNINGHAM P. J., ZIMMERMAN D. R., 1977. Selection for ovulation rate in swine: correlated response in age and weight at puberty, daily gain and probe backfat. *J. Anim. Sci.*, **44**, 30-35.
- OLLIVIER L., 1970. L'épreuve de la descendance chez le porc *Large White* français de 1953 à 1966. I. Analyse de la variation. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **2**, 311-324.
- OLLIVIER L., 1971. L'épreuve de la descendance chez le porc *Large White* français de 1953 à 1966. II. Indices de sélection. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **3**, 367-376.
- OLLIVIER L., 1974. Optimum replacement rates in animal breeding. *Anim. Prod.*, **19**, 257-271.
- POUTOUS M., VISSAC B., 1962. Recherche théorique des conditions de rentabilité maximum de l'épreuve de descendance des taureaux d'insémination artificielle. *Ann. Zootech.*, **11**, 233-256.
- SELLIER P., 1974. Le croisement dans l'espèce porcine. In *1^{er} Congrès Mondial de Génétique Appliquée à l'Élevage* (Madrid), vol. 1, 859-871, Editorial Garsi, Madrid.

- SELLIER P., 1975. Valeur en croisement de verrats *Landrace Français* et *Piètrvain*. In *Journées de la Recherche Porcine en France 1975*, 285-292, Institut technique du Porc, Paris.
- SELLIER P., 1976a. Valeur en croisement de verrats *Landrace Belge* et *Piètrvain*. In *Journées de la Recherche Porcine en France 1976*, 221-228, Institut technique du Porc, Paris.
- SELLIER P., 1976b. The basis of crossbreeding in pigs; a review. *Livest. Prod. Sci.*, **3**, 203-226.
- SELLIER P., HOUIX Y., DESMOULIN B., HENRY Y., 1974. Premières observations sur la relation entre conditions nutritionnelles et type génétique chez des porcs femelles. In *Journées de la Recherche Porcine en France 1974*, 209-219, Institut technique du Porc, Paris.
- SMITH C., 1959. A comparison of testing schemes for pigs. *Anim. Prod.*, **1**, 113-121.
- SMITH C., 1964. The use of specialized sire and dam lines in selection for meat production. *Anim. Prod.*, **6**, 337-344.
- SMITH C., 1978. The effect of inflation and form of investment on the estimated value of genetic improvement in farm livestock. *Anim. Prod.*, **26**, 101-110.
- SMITH C., KING J. W. B., 1964. Crossbreeding and litter production in British pigs. *Anim. Prod.*, **6**, 265-272.
- STRANG G. S., KING J. W. B., 1970. Litter productivity in *Large White* pigs. 2. Heritability and repeatability estimates *Anim. Prod.*, **12**, 235-243.
- VAN DE PAS J. G. C., MINKEMA D., BUITING G. A. J., 1973. Results of crossbreeding experiments with pigs in the Netherlands. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **6**, 149 (Abst.).
- VANGEN O., 1972. Mortality in two lines of pigs selected for rate of gain and thickness of backfat. *Acta Agr. Scand.*, **22**, 238-242.
- VANGEN O., 1977. Correlated responses in a selection experiment with pigs after 10 years of selection for growth rate and backfat thickness. 28^e *Réunion annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie*, Bruxelles, 14 pp. (ronéoté).
- WEBB A. J., KING J. W. B., 1976. Development of a synthetic pig sire line by selection with immigration. 1. Results of selection and heritability estimates. *Anim. Prod.*, **22**, 231-244.
-